

Approche développementale et neuropsychologique de processus visuo-attentionnels : traitements global et local selon la catégorie

par Luc KEÏTA

Thèse de doctorat en Psychologie

Mention Psychologie cognitive

sous la direction d'Olivier KOENIG et de Nathalie BEDOIN

présentée et soutenue publiquement le 4 juin 2007

devant un jury composé de : Nathalie BEDOIN, Maître de conférences, Université Lumière Lyon 2
Sylvane FAURE, Professeur des universités, Université de Nice Olivier KOENIG, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2
Christophe ROUSSELLE, Expert, Université Lyon 1
Jean Pierre THIBAUT, Professeur des universités, Université de Poitiers
Rémy VERSACE, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2 (président du jury)

Table des matières

Thesis summary . .	1
Résumé de la thèse .	3
Remerciements . .	5
Introduction . .	7
Chapitre I. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez l'adulte . .	11
1. Traitement d'un tout et de ses parties . .	11
1.1. Structuralisme et perception analytique .	12
1.2. Théorie de la forme et perception du tout . .	16
1.3. Distinction entre les relations configuration/composantes et les niveaux global/local . .	28
2. Traitement des niveaux global et local chez l'adulte .	34
2.1. Phénomène d'avantage du niveau global sur le niveau local . .	34
2.2. Arguments pour les composantes sensorielles de l'avantage du global : sensibilité aux caractéristiques physiques des stimuli . .	51
2.3. Arguments pour les composantes attentionnelles et les influences de haut niveau dans l'avantage du global .	55
2.4. Effets de changement de niveau (<i>switching</i>) induits par le contexte .	61
3. Traitement des niveaux global et local chez l'adulte et spécialisation hémisphérique .	73
3.1. Spécialisation hémisphérique gauche pour le langage : les limites .	74
3.2. Spécialisation hémisphérique droite pour les traitements visuo-spatiaux : les limites . .	77
3.3. Particularité de la spécialisation hémisphérique pour les traitements global/local .	79
4. Problématique . .	104
Expériences 1a et 1b .	115
1. Méthode de l'Expérience 1a .	116
1. Méthode de L'expérience 1b .	119
2. Résultats Expériences 1a et 1b . .	120
3. Discussion .	127

Expérience 1c .	133
1. Méthode . .	134
2. Résultats .	135
3. Discussion .	136
Expériences 2a et 2b .	139
1. Méthode de l'Expérience 2a .	140
1. Méthode de l'Expérience 2b .	141
2. Résultats des Expériences 2a et 2b .	141
3. Discussion .	150
Expérience 2c .	152
1. Méthode . .	153
2. Résultats .	153
3. Discussion .	156
Expérience 3 . .	158
1. Méthode . .	159
2. Résultats .	160
3. Discussion .	167
Expérience 4 . .	169
1. Méthode . .	170
2. Résultats .	172
4. Discussion .	178
5. Discussion générale pour les expériences conduites chez les jeunes adultes .	180
Chapitre II. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez l'enfant .	187
1. Analyse de scènes visuelles chez l'enfant : critères pour percevoir une unité .	188
1.1. Influence du principe de cohésion .	189
1.2. Influence des critères de similarité .	189
1.3. Influence du critère de bonne continuité . .	190
1.4. Influence de fermeture pour percevoir une unité chez l'enfant . .	192
1.4. Rôle de la proximité et de la connectivité des éléments . .	194

2. Développement des traitements global et local chez l'enfant . .	196
2.1. Travaux chez les bébés .	197
2. 2. Travaux chez les enfants à partir de 3 ans .	202
3. Développement des asymétries hémisphériques pour les traitements visuo-spatiaux . .	211
3.1. Hypothèses sur le développement de l'asymétrie hémisphérique .	212
3.2. Développement de la spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage .	215
3.3. Développement de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements visuo-spatiaux .	217
3.4. Développement de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local .	220
4. Développement des traitements global/local et catégories des stimuli hiérarchisés .	223
4.1. Spécificité du traitement des lettres .	223
4.2. Traitement spécifique des lettres chez les enfants . .	226
Expérience 5 . .	228
1. Méthode . .	229
2. Résultats .	230
Expérience 6 . .	239
1. Méthode . .	240
2. Résultats .	240
3. Discussion .	247
Chapitre III. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez des enfants avec ou sans trouble phonologique majeur .	255
1 Définition de la dyslexie développementale . .	255
2. Classification des formes de dyslexie développementale . .	256
2.1. Modèle théorique à l'origine de cette classification .	256
2.2. La dyslexie développementale phonologique . .	257
2.3. La dyslexie développementale de surface .	257
2.4. La dyslexie développementale mixte .	258
3. Corrélats neuroanatomiques de la dyslexie développementale .	258
4. Hypothèses sur les mécanismes cognitifs déficitaires à l'origine de la dyslexie . .	260

4.1. L'hypothèse phonologique .	260
4.2. L'hypothèse cérébelleuse . .	262
4.3. L'hypothèse visuelle ou magnocellulaire .	262
4.4. L'hypothèse auditive . .	264
4.5. L'hypothèse du déficit visuo-attentionnel .	265
Expériences 7 et 8 .	271
Expérience 7 .	271
Expérience 8 . .	289
1. Méthode . .	290
2. Résultats .	292
3. Discussion .	303
4. Discussion générale sur les Expériences 7 et 8. . .	307
Conclusion générale .	319
Références .	323
Annexes . .	365
Annexe 1 .	365
Annexe 2 .	365

Thesis summary

Our doctoral dissertation concerns the involvement of neural mechanisms of attention on global and local processing and is based upon behavioral data from experimentation presenting hierarchically organized stimuli in divided visual fields. We have shown the influence of high-level processing which modulates the involvement of lateralized mechanisms according to their specialization for global or local analysis as well as for categories (Letter/Object). We have also studied the neural mechanism that allows switching attention between processing details and the global form, which we have shown it to rely on several mechanisms: one of which, unselecting the inappropriate analysis mode, relies on an inhibition mechanism that is differentiated by its right hemisphere dominance. The selection of a processing level was then studied through the effects of interference inferred by concurrent information situated on a level needing to be inhibited. Chapter I presents 8 experiments on these mechanisms for young adults, Chapter II studies their implementation with 2 experiments among children from 6 to 10 years old. The 2 experiments from Chapter III isolate specific anomalies in different types of dyslexia. Children suffering from dyslexia with major phonological disorders present an abnormal functional hemispheric lateralization for processing the Letter and Object categories, whereas a specific deficit of an inhibition mechanism for information on a local level characterize dyslexic children without phonological disorders. The specificity of these deficits reinforces the hypothesis of a linguistic representation disorder in the first type of dyslexia, and the existence of another type of dyslexia characterized by visuo-spatial attention difficulties.

Résumé de la thèse

Notre thèse porte sur l'implication de processus attentionnels dans les traitements global et local de stimuli visuels complexes et s'appuie sur des données comportementales issues d'expériences présentant des stimuli hiérarchisés en champ visuel divisé. Nous montrons l'influence d'un processus de haut niveau, qui module l'implication de mécanismes latéralisés selon leur spécialisation pour l'analyse globale ou locale, mais aussi pour des catégories (Lettre / Dessin d'objet). Nous étudions aussi le processus attentionnel permettant d'alterner le traitement des détails et de la forme globale et montrons qu'il s'appuie sur plusieurs opérations : l'une d'elles, la désélection du mode d'analyse inapproprié, s'appuie sur un mécanisme d'inhibition qui se distingue par une dominance de l'hémisphère droit. La sélection d'un niveau est enfin étudiée à travers les effets d'interférence induits par l'information concurrente située au niveau devant être inhibé. Après le Chapitre I proposant 8 expériences sur ces processus auprès de jeunes adultes, le Chapitre II étudie leur mise en place avec 2 expériences chez des enfants de 6 à 10 ans. Les 2 expériences du Chapitre III isolent enfin des anomalies spécifiques à des types de dyslexie différents. Les enfants atteints de dyslexie avec des troubles phonologiques majeurs présentent une latéralisation hémisphérique fonctionnelle anormale pour traiter les catégories Lettre et Dessin d'objet, alors qu'un déficit spécifique du mécanisme d'inhibition d'information issue du niveau local caractérise les enfants dyslexiques sans trouble phonologique. La spécificité de ces déficits conforte l'hypothèse d'un trouble des représentations linguistiques dans le premier type de dyslexie, et l'existence d'un autre type de dyslexie, caractérisé par des troubles de l'attention visuo-spatiale dont cette recherche contribue à préciser la nature.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux directeurs : le Professeur Olivier Koenig et le Docteur Nathalie Bedoin. Vous m'avez apporté un soutien, une rigueur scientifique qui m'a permis de mener ce travail. Je remercie Nathalie Bedoin qui a dû s'armer de patience pour mes nombreuses maladresses dans la rédaction de ma thèse.

Je remercie énormément les professeurs Sylvane Faure et Jean-Pierre Thibaut d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ma thèse. Je remercie également Rémy Versace, le président du jury et le docteur Christophe Rousselle.

Je profite de l'occasion pour dire un grand merci au chef du service de Neuropédiatrie de l'Hôpital Debrousse, à Vania Herbillon, Sonia Krifi, Anne Mérigot Debonfils, Haggar Levy-Sébbag, et Christine Zou-Martin. Merci d'avoir permis la sélection et le « testing » des participants dyslexiques.

Mes remerciements sont maintenant adressés aux membres du laboratoire d'étude des mécanismes cognitifs (Enseignants et Étudiants), à son directeur qui m'a donné la possibilité de terminer ma thèse dans de meilleures conditions. Je le remercie une fois de plus pour ses qualités humaines. Merci Olivier d'avoir fait la sauvegarde de tous mes documents quand mon ordinateur est tombé en panne, et d'avoir œuvré matériellement à sa réparation. Merci à Emmanuelle Reynaud, Richard pour la réparation de mon ordinateur. Merci à Anne Reboul de m'avoir prêté un ordinateur.

Je remercie, mes collègues de Bureau : Nathalie Ojéda-Perreton pour son aide, Norbert, Benjamin pour la bonne entente.

Je remercie tous ceux ou celles qui m'ont accueilli à Lyon pendant l'Hiver 2001. Merci à Régine de m'avoir conduit au laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC). Merci de m'avoir offert mon premier pull en France : Nathalie Bedoin, Nathalie Blanc, Nathalie Ojéda-Perreton, Gaël Allain, Valérie Buron, Sandrine Honoré-Masson, Gaëlle Molinari, Sabine Guéraud, Frederick Devinck, David Sander. Je remercie aussi Olivier Jarret « jésus », Baptiste (LeBat) Jean-Claude, Guillemette Badard-Billard et son mari, Angélique Ducreux-Fournier, Amandine Rose-David, Stéphanie Collin, Céline Borg,.

Je ne pourrai terminer mes remerciements sans dire un grand merci à toute la famille Allain Pépin, Molinari et Ojéda. Gaël et Marlène, vous m'avez toujours associé à vos événements en famille, merci pour ces fêtes de Noël. Je n'oublie pas Élodie Labeye qui m'a toujours invité à Noël sans que je puisse l'honorer de ma présence.

Je remercie mes relecteurs : Emmanuelle Reynaud, Fanny, Dumé, Régine, Nathalie Ojéda-Perreton, Damien Fernandez, Florence Chenu, Melisa Clark, Sonia Krifi et Vania Herbillon.

Un grand merci à mes parents et à mes frères pour leurs encouragements. A Josiane, merci pour tes encouragements et ta tendresse.

Je remercie enfin le gouvernement Burkinabé et le Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs.

Que vos bienfaits vous soient rendus au centuple.

Introduction

Notre milieu plonge l'enfant, dès le plus jeune âge, dans un contexte très stimulant pour les diverses capacités sensorielles dont il est doté et, si les conditions permettent de ménager un environnement favorable à son bien-être et à son développement tant affectif que cognitif, il est rapidement amené à mettre en place et/ou affiner des compétences perceptives lui permettant d'interagir de la manière la plus intéressante, efficace et plaisante possible. Pour cela, le cerveau de l'enfant et ses systèmes sensoriels offrent des limites mais aussi des potentialités peu à peu mises à profit, en grande partie parce qu'il est rapidement impératif de donner quelque sens à cet environnement, notamment pour identifier les indices de présence d'une source potentielle de réduction des tensions internes. En particulier, il devient très vite fondamental de structurer activement l'environnement visuo-spatial pour délimiter des figures sur le fond, opérer des groupements favorisant la détection des limites des objets, ce qui est favorisé par les interactions avec l'environnement et permettra en retour de rendre celles-ci de plus en plus enrichissantes.

Du point de vue visuel, l'environnement est riche de couleurs et de formes, et l'enfant, comme l'adulte, est en présence d'objets qu'il doit parvenir à extraire, plus ou moins automatiquement. La taille de ces objets est variable et, surtout, ils sont généralement complexes en ce sens qu'ils contiennent eux-mêmes des détails, par définition plus petits, qui participent souvent à la signification de l'objet, tout comme l'ensemble contribue souvent à donner de la cohérence et à guider l'interprétation de certains détails. Nous sommes donc quotidiennement confrontés à des stimuli présentant des informations pertinentes situées à des niveaux de complexité variés.

Dans une démarche de recherche expérimentale en psychologie cognitive, de nombreux chercheurs se sont intéressés à ces questions et les étudient notamment à l'aide d'un principe d'expérience consistant à présenter des stimuli visuels complexes, appelés *stimuli hiérarchisés*, parce qu'une information est généralement identifiable au niveau de l'ensemble du stimulus (niveau global), mais aussi au niveau de ses détails (niveau local). L'objectif de l'utilisation de tels stimuli est de tenter d'épurer les situations, de manière à éviter une grande quantité de biais qui entravent les expériences conduites avec un matériel plus écologique. L'objectif est donc surtout de tenter de découvrir les mécanismes cognitifs grâce auxquels l'être humain peut, potentiellement, analyser un objet visuel complexe de deux points de vue : à travers des processus relevant plutôt de l'intégration pour le traitement de l'aspect global, ou relevant de la segmentation pour l'aspect local. Dans les situations quotidiennes, nos activités perceptives ne consistent pas seulement à traiter un objet ou une scène avec un de ces points de vue, mais aussi à passer de l'un à l'autre. Il paraît donc important de s'intéresser aux possibilités et aux limites de cette flexibilité dans le domaine visuel. La thèse que nous proposons tentera de contribuer à éclairer certains aspects de ces traitements.

Les travaux portant sur le traitement de stimuli hiérarchisés ont rapidement permis la mise en évidence de deux phénomènes majeurs : le traitement du niveau global présenterait un certain avantage sur celui du niveau local et il existerait une asymétrie de la spécialisation hémisphérique pour le traitement de l'un et l'autre niveaux, avec une compétence particulière de structures cérébrales de l'hémisphère droit (HD) pour traiter le niveau global et une compétence spéciale de structures analogues dans l'hémisphère gauche (HG) pour le niveau local.

Ces effets sont souvent interprétés comme déterminés par les caractéristiques physiques des stimuli et les règles de fonctionnement de réseaux cérébraux responsables de la perception visuelle à un niveau de traitement assez élémentaire. Ainsi, l'une des causes évoquées pour la relative difficulté à traiter les détails est leur faible discriminabilité dans la chaîne formant le stimulus hiérarchisé, ou encore le fait qu'une telle information soit majoritairement véhiculée par de hautes fréquences spatiales, essentiellement traitées par un canal spécialisé, assez lent, et pour lequel l'hémisphère gauche est dominant. De telles descriptions, centrées sur les processus ascendants (*bottom-up*), confèrent aux mécanismes perceptifs impliqués une importante modularité, avec un cloisonnement informationnel conduisant à concevoir leur fonctionnement comme « aveugle » aux informations issues d'autres sources de connaissances exogènes au module lui-même.

Sans réduire à néant les assertions de cette approche, une autre perspective consiste à décrire le traitement de cibles dans des stimuli hiérarchisés comme le fruit d'interactions entre des processus ascendants et descendants. Elle transparaît dans les travaux montrant l'influence de facteurs non-sensoriels, de plus haut niveau, susceptibles de moduler l'engagement respectif de chaque hémisphère pour le traitement des niveaux global et local. Elle est aussi inhérente au nombre croissant de recherches conduites dans ce domaine en posant les questions en termes de mécanismes attentionnels. (faire bien ressortir l'absence de travaux sur l'influence des ccs sur la spécialisation hémisphérique).

Les arguments développés consistent alors par exemple à mettre en évidence, dans le traitement de stimuli hiérarchisés, l'implication de structures cérébrales connues comme support de mécanismes attentionnels. Il s'agit aussi par exemple de montrer l'effet de facteurs contextuels sur les deux phénomènes centraux dans ce domaine (*i. e.*, l'avantage du niveau global et l'asymétrie hémisphérique pour les niveaux global et local). Concernant l'influence de ces facteurs contextuels, plusieurs interprétations sont souvent possibles. Les effets de contexte peuvent en effet être décrits comme basés sur de simples phénomènes d'amorçage automatique, essentiellement contraints par les règles d'organisation du système perceptif : il remettent alors que faiblement en cause son cloisonnement. Dans d'autres cas, ils impliquent plus clairement la participation de processus ou de connaissances de plus haut niveau et leur étude est alors exprimée en terme d'attention sélective. Un objectif central de cette thèse est d'étudier, dans ce cadre, dans quelle mesure une connaissance sémantique (la catégorie des objets représentés aux niveaux global et local) peut moduler le profil de dominance hémisphérique classiquement décrit pour le traitement de ces deux niveaux. Nous pourrions ainsi montrer que les mécanismes cognitifs mis en œuvre pour analyser un objet ne sont pas seulement guidés par les caractéristiques physiques de l'information, mais aussi par l'état attentionnel du sujet et l'organisation de ces connaissances.

Nous verrons que la manipulation la plus directe de l'attention sélective consiste à demander de traiter des stimuli hiérarchisés en sélectionnant volontairement un seul niveau d'analyse (*i. e.*, tâches d'attention focalisée) et une telle consigne peut moduler l'avantage classique du niveau global sur le niveau local. D'autres manipulations consistent à indiquer de manière endogène le niveau d'apparition de la cible. Pour cela, il est par exemple possible de manipuler l'état attentionnel d'une personne lors du traitement d'un stimulus visuel complexe, en lui faisant traiter préalablement un autre stimulus pour lequel les ressources attentionnelles sont mobilisées à l'un ou l'autre niveau d'analyse. Ces effets sont étudiés sous le nom d'*effet de répétition*, et permettent en outre d'étudier comment nous pouvons échapper à ce type de contexte pour traiter un objet de manière appropriée. Ce type d'effets, issus de la manipulation du contexte attentionnel dans lequel une personne se trouve, au moment où des informations analysables de différentes manières s'offrent à elles, seront étudiés dans notre thèse. Ils nous intéressent particulièrement comme moyen d'étude des interactions entre processus attentionnels et perceptifs dans les stimuli visuels complexes.

Nous développerons à ce sujet des propositions, visant à approfondir l'étude du processus permettant de passer d'un niveau d'analyse à un autre, comme nous sommes souvent obligés de le faire, par exemple dans les situations de conduite automobile, et vraisemblablement aussi dans certaines situations de lecture. Notre proposition consistera à ne plus concevoir le processus de changement de niveau comme une fonction unique et indissociable ; nous ferons des propositions précises quant aux opérations qui pourraient le composer et tenterons d'argumenter la possibilité de les étudier séparément, en montrant qu'elles engagent des mécanismes sous-tendus par des régions cérébrales latéralisées de manières différentes. La méthodologie utilisée est celle de la présentation visuelle rapide en champ visuel divisé, technique n'apportant que des informations limitées sur les supports neuro-anatomiques mis en jeu, et très vulnérable à de nombreux

biais. Nous tenterons néanmoins de contribuer à défendre l'intérêt de cette méthode non invasive en montrant qu'elle peut, au moins en un premier temps, permettre de tester certaines questions sur le fonctionnement cognitif, et mettre ainsi sur la piste d'éventuelles recherches mettant en œuvre des techniques plus coûteuses, mais aussi plus précises.

Cette thèse se décline en trois chapitres, chacun développant une partie théorique, puis plusieurs expériences utilisant des stimuli hiérarchisés. Le premier chapitre est consacré au traitement d'un tel matériel chez des personnes adultes, sans déficit particulier et conduira à la présentation de huit expériences. Le deuxième chapitre est consacré au développement de certaines compétences dans ce domaine chez les enfants et nous relaterons deux expériences réalisées auprès de groupes d'enfants scolarisés en classe de CP, CE2 et CM2. Enfin, le dernier chapitre apportera un complément à propos de la manière dont ce type de recherche peut contribuer à comprendre les déficits cognitifs présentés par des enfants dyslexiques, selon le type de pathologie (associée ou non à un trouble phonologique majeur). Dans ce cadre, après une synthèse de la littérature sur le sujet, nous présenterons là aussi deux expériences, sur le même modèle que celles conduites dans les chapitres précédents, avec, pour chacune de ces deux épreuves, 14 couples d'enfants dyslexiques appariés pour leur niveau de lecture mais présentant des types de dyslexie distincts. Il s'agira donc d'un ensemble de résultats recueillis auprès de 56 jeunes patients, dont les résultats seront comparés entre les groupes selon le type de dyslexie, ainsi qu'avec des groupes d'enfants contrôles appariés, pour les uns, en niveau de lecture et pour les autres en âge chronologique.

Chapitre I. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez l'adulte

1. Traitement d'un tout et de ses parties

En psychologie, une question importante à propos de la perception des objets porte sur le traitement de ses parties, de sa forme complète, et de la relation entre ces deux aspects. En effet, différents éléments, parties ou composantes, se combinent généralement pour composer la totalité de l'objet perçu qui constitue un tout désigné en anglais sous le terme de *whole*. Deux courants de pensée, l'école structuraliste et la théorie de la forme (*i.e.*, *Gestalt*), ont décrit de façon opposée le déroulement des opérations mentales engagées dans la perception visuelle de l'objet. Ils sont fréquemment évoqués comme cadre général d'interprétation de données expérimentales obtenues en psychologie cognitive à propos de l'organisation perceptive visuelle. Nous verrons que le traitement d'une totalité pourrait impliquer différents aspects : l'ensemble d'une figure peut faire l'objet d'un traitement *configural* dont la primauté par rapport au traitement des composantes fait l'objet d'une opposition entre les perspectives structuraliste et gestaltiste ; le traitement

global fait aussi référence à la prise en compte de sa forme complète, mais il s'agit d'un mode de traitement défini par le niveau hiérarchique (global et non local) de l'information traitée dans l'objet.

1.1. Structuralisme et perception analytique

1.1.1. La perception visuelle comme 'piecemeal affair'

Le structuralisme, représenté notamment par Titchener (1909) et Wundt (1874), trouve ses origines dans l'empirisme britannique. La perspective atomiste et l'importance accordée aux mécanismes associationnistes sont centrales dans leur description de la perception, dont les unités de base seraient de multiples sensations élémentaires indépendantes, à partir desquelles une totalité organisée pourrait être secondairement construite grâce à des règles d'association apprises par expérience.

Les idées structuralistes sont cohérentes avec certaines conceptions plus récentes, considérant la perception comme analytique avant tout. Pour Neisser (1967, cité par Treisman, 1988) par exemple, les différentes parties d'une scène visuelle seraient d'abord perçues, avant que des procédures de reconnaissance de configurations ne s'engagent.

Une telle description de la perception visuelle, strictement dirigée par l'extraction de composantes vers la structure générale, est parfois justifiée en évoquant une restriction de l'espace sur lequel l'organisation perceptive pourrait s'effectuer. Par exemple, Hochberg (1981, cité par Pomerantz, 2004) considère que la fenêtre dans laquelle une organisation perceptive est immédiatement possible est si étroite, que la perception reposerait plus souvent sur une construction (*i.e.*, *a piecemeal affair*) que sur une organisation globale spontanée. Il évoque certains phénomènes cohérents avec une telle conception. Par exemple, la possibilité de percevoir des figures même lorsque celles-ci sont géométriquement impossibles (*e.g* Figure 1) suggère que l'organisation visuelle s'effectue à partir des détails, sans tentative d'intégration spontanée dans une grande forme globale, ce qui empêche dans cet exemple de découvrir immédiatement l'incohérence de la configuration.

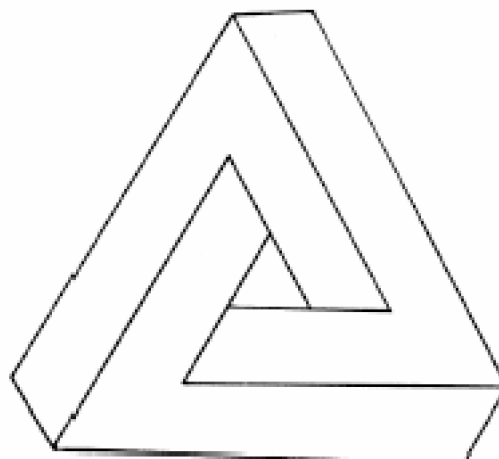


Figure 1. Exemple d'une figure impossible

(l'illustration est issue de Pomerantz, 2004)

Les contours d'un tel objet impossible seraient interprétés à partir de l'accumulation des parties, sans organisation spécifique au niveau de la totalité (Pomerantz, 2004). La justification de l'aspect 'morcelé' de la perception précoce par les limites de la fenêtre disponible pour une intégration spontanée des traits est cohérente avec le fait qu'une propriété relative à une totalité, comme la symétrie entre deux parenthèses (), est détectée seulement localement, dans les régions très proches de l'axe de symétrie vertical : même si la proportion des deux éléments est respectée par l'agrandissement, leur présentation à 10° plutôt qu'à 2° l'un de l'autre fait pratiquement disparaître leur regroupement perceptif sur la base de leur symétrie (Pomerantz, 2004). Toutefois, d'autres illusions suggèrent quand même que la fenêtre dans laquelle l'organisation perceptive prend rapidement place est assez large : le triangle virtuel de Kanisza (voir Figure 2), perçu même si les trois éléments qui induisent cette illusion sont éloignés, constitue ainsi un contre-argument à la théorie de l'organisation parcellaire, en montrant qu'une figure globale peut parfois s'imposer rapidement et avec force.

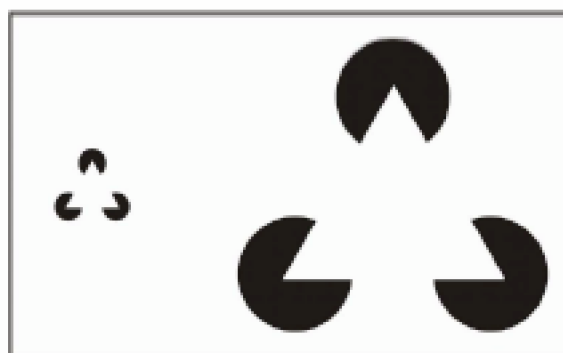


Figure 2. Triangle virtuel de Kanisza

(l'illustration est issue de Pomerantz, 2004)

1.1.2. La théorie de l'intégration des traits de Treisman

La primauté de la perception des composantes transparaît dans la théorie de l'intégration des traits de Treisman : la vision précoce consisterait à extraire de l'image des traits, alors représentés sur des plans distincts (*feature maps*), en concordance avec la spécialisation des aires corticales impliquées en vision. C'est pourquoi la recherche visuelle d'une cible à partir du critère d'un trait unique sur lequel repose sa différence avec des distracteurs (e.g., la cible Q parmi des O) est facilement réalisée, grâce à un phénomène de 'pop-out' : la cible est perçue immédiatement, sans effort et automatiquement, avec une même facilité quelle que soit la quantité de distracteurs. La détection immédiate de la cible est alors réalisée de manière pré-attentionnelle, grâce à un mécanisme de traitement en parallèle. De même, dans une scène visuelle, une rupture au niveau d'une dimension unique telle que la couleur ou la luminance permettrait de délimiter automatiquement une forme (e.g., une vache brune sur le fond vert du pré), parce que l'extraction d'aucune relation entre traits n'est nécessaire. Par contre, si la distinction de la cible nécessite la prise en compte d'une conjonction de traits relevant de dimensions différentes (e.g., détecter une barre horizontale verte parmi des barres horizontales rouges et des barres verticales vertes), sa détection devient plus difficile et prend d'autant plus de temps que le nombre de distracteurs augmente. Selon la théorie de l'intégration des traits, il s'impose alors de prendre en compte des relations entre traits pour les intégrer (*binding*), ce qui impliquerait des opérations coûteuses en temps et en énergie, réalisées en un second temps et impliquant des ressources attentionnelles (Treisman, 1988). L'attention spatiale serait donc nécessaire pour assembler les divers éléments de base de l'objet (Treisman & Gelade, 1980). Lorsque l'attention n'est pas disponible parce qu'elle est dirigée sur une autre tâche concernant des stimuli en périphérie, des conjonctions illusoires peuvent se produire entre les traits de deux objets présentés rapidement de façon centrale, avec par exemple l'illusion d'avoir vu une croix bleue alors qu'une croix rouge et un T bleu étaient présentés (Treisman & Schmidt, 1982). Ces phénomènes de conjonction illusoire constituent un argument important pour la conception analytique de la perception (Printzmetal, 1995). Ils se produisent surtout à partir de la similarité de couleur. Une combinaison correcte des différents traits serait donc une étape de traitement attentionnelle et secondaire au codage séparé des traits. Comme le champ visuel ne serait pas représenté sous forme d'objets dans le traitement pré-attentionnel, mais comme une collection de traits, l'attention ne serait pas dirigée par des objets (*object-based attention*), mais sélectionnerait plutôt des régions de l'espace (*space-based attention*) pour permettre seulement ensuite la construction mentale des objets. Avant cet assemblage, le monde visuel se limiterait à une 'soupe' d'attributs sans organisation spatiale (Rousselet, 2003).

1.1.3. Conjonctions précoces

Cette dernière affirmation a été quelque peu relativisée, car la conjonction de certains traits (mouvement, couleur, orientation) pourrait parfois être détectée de manière pré-attentionnelle, par un traitement en parallèle (McElree & Carrasco, 1999). Si le système visuel précoce présente des difficultés à poursuivre une recherche visuelle en

parallèle sur plusieurs dimensions, cela dépend cependant de leur nature (Quinlan & Humphreys, 1987). Cela serait particulièrement difficile pour le mouvement et la couleur. Par contre, la détection de la conjonction entre la couleur d'une part et la forme, l'orientation ou la taille d'autre part pourrait se faire par une recherche en parallèle (Wolfe, Cave, & Franzel, 1989), tout comme la conjonction de la forme et du mouvement (Driver, McLeod, & Dienes, 1992 ; McLeod, Driver, & Crisp, 1988) ou de la forme et du contraste (Theeuwes & Kooi, 1994).

Pour tenir compte de ce type de nuance, Treisman (1988) propose que le temps de recherche visuelle de certaines conjonctions (une barre horizontale verte parmi des barres verticales vertes et des barres horizontales rouges) est parfois indépendant du nombre de distracteurs parce qu'il est possible au système, dans cet exemple, d'inhiber l'information sur les stimuli rouges, de simplifier ainsi la tâche en une recherche de barre horizontale verte parmi des barres verticales vertes et surtout d'attirer l'attention subséquente vers les régions contenant le plus probablement la cible. L'évocation d'un processus d'inhibition relativise toutefois la possibilité de qualifier l'ensemble d'un tel traitement de pré-attentionnel.

1.1.4. La théorie de Duncan et Humphreys

D'autres modèles s'écartent plus radicalement de la théorie de l'intégration des traits. Pour Duncan et Humphreys (1989), la recherche à partir d'un trait unique ou d'une conjonction de traits est conduite selon un même mécanisme exécuté en parallèle, basé sur des inhibitions entre unités et impliquant des groupements pré-attentionnels. Le traitement commencerait par une étape de description perceptive (*perceptual description*). Tous les éléments du champ visuel seraient traités en même temps et l'efficacité de la recherche visuelle dépendrait de la similarité entre cible et distracteurs, ainsi que de la similarité entre distracteurs. Si ces derniers sont similaires entre eux, ils sont groupés et rejetés, accélérant ainsi la détection de la cible, que celle-ci se distingue par un seul trait ou par une conjonction de traits (Duncan, 1995 ; Duncan & Humphreys, 1989, 1992). Pour ce groupement inter-items précoce, une similarité des composantes individuelles des distracteurs ne suffit pas, encore faut-il que leur orientation dans l'espace soit la même, ou que leur forme soit semblable, ce qui suggère que des combinaisons de caractéristiques visuelles sont peut-être prises en compte rapidement : la recherche de la cible T parmi des distracteurs constitués de T renversés ne dépend pas du nombre de distracteurs si l'orientation de chacun de ces distracteurs est homogène, mais elle en dépend si certains distracteurs sont renversés à 90° et d'autres à 180° (Humphreys, Quinlan, & Riddoch, 1989).

1.1.5. La théorie de la recherche guidée de Wolfe

Enfin, dans le modèle de la recherche guidée (*guided search theory*, Cave & Wolfe, 1990), la stricte distinction entre recherches en parallèle ou séquentielle est abandonnée : pour rechercher une cible définie par une conjonction de traits, des processus visuels de bas niveau extrairaient les traits élémentaires en parallèle pour différentes dimensions, puis un mécanisme de guidance qualifié de 'pré-attentionnel' utiliserait cette information

pour diriger l'attention sur les items possédant l'un et/ou l'autre trait pour décider s'il s'agit ou non de la cible. Les auteurs ne reprennent pas l'idée de Treisman selon laquelle les non-cibles seraient inhibées. Ils mettent plutôt en avant le fait que, grâce à la consigne, le sujet connaît à l'avance la composition des éléments de base de la cible et cela contribuerait, par un processus '*top-down*', à conduire la recherche sérielle dans les endroits où la cible est la plus probable, ce qui rendrait la recherche très efficace. Sur la base d'un principe additif, la présence simultanée de traits simples pertinents permettrait un déplacement de l'attention vers des unités contenant des conjonctions, particulièrement attractives si elles combinent plusieurs traits recherchés ; cela revient à considérer la recherche à partir d'un ou plusieurs traits comme conduite selon un même principe. Toutefois, selon ce modèle, les configurations ne semblent pas constituer des primitives guidant par elles-mêmes la recherche. Le système visuel ne découperait le monde qu'en 'proto-objets', sortes de listes de propriétés ou objets potentiels non encore définis comme de véritables configurations : les mécanismes visuels précoces ne feraient qu'isoler des listes de propriétés témoignant de leur présence, mais pas de leur organisation et de leur forme (Wolfe & Bennett, 1997).

1.2. Théorie de la forme et perception du tout

1.2.1. Une perception visuelle déterminée par les propriétés de relations et les formes

Aux conceptions analytiques s'opposent des approches dans lesquelles le traitement de propriétés relatives à l'ensemble du stimulus (*wholistic properties*) s'impose dès les premières étapes de la perception dans des tâches d'identification, de discrimination ou de classification d'objets.

Cette perspective rappelle, et parfois se réclame, de certains aspects de la théorie de la forme qui apporta une perspective nouvelle au début du XX^{ème} siècle, avec ses trois principaux fondateurs Wertheimer, puis Köhler et Koffka. Dans un mouvement de rejet de l'élémentarisme, il est postulé que la forme globale l'emporte sur les éléments qui la composent et est perçue d'emblée. L'idée centrale est que le tout est autre chose que la somme de ses parties (Wertheimer, 1967, cité par Kimchi, 1994) et ne peut donc être perçu simplement en associant les sensations élémentaires. L'organisation du percept ne serait pas secondaire et ne dépendrait pas non plus strictement de l'apprentissage. Le tout serait perçu immédiatement et se détacherait du fond, permettant la ségrégation rapide de l'objet dans son contexte. Cette totalité ou forme (*Gestalt*) constituerait le mode d'organisation fondamental du champ de la conscience humaine et s'imposerait d'emblée si certaines lois d'organisation sont respectées par le stimulus. Ainsi, il suffit que des points partagent des caractéristiques pour qu'ils soient instantanément groupés et perçus comme un objet visuel assez grand. Ces propriétés, énoncées par Wertheimer (1923, cité par Desolneux, Moisan & Morel, 2003) et reprises par Kanisza (1979) sont notamment la proximité, la similitude, la commune direction (continuité), la fermeture, et qualifient donc des relations entre composantes. La symétrie et le parallélisme s'ajoutent à cette liste de propriétés géométriques. Ces lois de groupement guideraient un processus primaire,

antérieur aux processus cognitifs plus complexes menant à l'identification. Rosenthal et Vissetti résument ainsi une idée essentielle de la théorie de la forme : « La perception est d'emblée perception de relations, car une relation n'est pas nécessairement le fruit d'une opération intellectuelle, ni même postérieure à la perception des termes qu'elle relie » (1999, p. 162). Pour justifier l'existence de ces lois de groupement géométriques en termes évolutionnistes, Brunswick et Kamiya (1953, cités par Desolneux et al., 2003) suggèrent qu'elles découlent de la régularité statistique des formes dans le monde. Les arguments avancés par la théorie de la forme relèvent de la phénoménologie, mais des développements plus récents en psychophysique et en psychologie cognitive traitent de ces questions, alors abordées avec la méthode expérimentale.

L'étude du traitement d'une totalité en perception visuelle s'articule autour de deux ensembles de travaux expérimentaux.

Le premier évalue l'impact de *différentes propriétés relatives à la totalité*. Il s'agit notamment de montrer que plusieurs propriétés impliquant une combinaison spatiale particulière de traits sont propices à l'émergence précoce du tout (*Gestalt grouping*) dans les traitements perceptifs : la propriété de fermeture suscite à ce titre une certaine unanimité, mais l'impact précoce d'autres propriétés configurales est examiné.

Le deuxième ensemble de travaux a fourni une abondante littérature scientifique sur le traitement de stimuli hiérarchisés, alimentant un débat concernant un effet dit de *supériorité du niveau global* sur le niveau local. Il s'agit alors de comprendre le traitement d'un stimulus visuel doté d'au moins deux niveaux de complexité qui définissent les places dans une hiérarchie : une forme générale qui représente par exemple une figure géométrique ou une lettre (niveau global), elle-même composée de la répétition d'un élément (niveau local) de façon à ce que chaque détail soit isolable et lui aussi identifiable (voir un exemple Figure 3). Le traitement global est défini comme le mode de traitement adapté au niveau d'organisation le plus élevé d'un stimulus hiérarchisé.



Figure 3. Exemple de lettre hiérarchisée (E au niveau global et A au niveau local)

Aujourd'hui, une distinction forte se profile entre ces deux traditions de recherche, pourtant initialement destinées à répondre à de mêmes questions sur les rapports entre le tout et ses parties en perception visuelle. Cela va de paire avec l'idée d'une certaine complexité des traitements perceptifs appliqués à un Tout, de plus en plus conçus comme indépendants les uns des autres. Cette distinction ne nous paraît pas incompatible avec les totalités gestaltistes, présentées comme des ensembles à la fois articulés mais aussi

stratifiés (Rosenthal & Vissetti, 1999, p. 162).

Notre thèse porte sur les modes de traitement global et local de stimuli visuels complexes et nous avons annoncé dans l'introduction que leur étude, au départ suscitée par des questionnement dans le domaine de la cognition spatiale, s'inscrit de plus en plus dans celui de l'attention visuo-spatiale, où elle offre un moyen intéressant d'étudier la participation de processus de haut niveau dans le traitement de stimuli visuels complexes. Notre démarche expérimentale est guidée par des questions sur certaines de ces influences de haut niveau, leur développement chez l'enfant et leurs éventuelles anomalies en cas de difficultés persistantes d'apprentissage de la lecture. Toutefois, étant donnée la proximité des questions abordées, ainsi que la présence de propriétés configurales dans bon nombre de stimuli hiérarchisés utilisés pour l'étude des traitements global et local et surtout l'origine commune des problématiques liées aux études sur les propriétés configurales et sur les traitements global/local, nous proposons avant tout une présentation des apports des recherches sur le traitement des propriétés configurales des stimuli visuels.

1.2.2. Propriétés relationnelles ou configurales d'un stimulus

Dans le domaine de l'organisation perceptive, l'étude du rôle des propriétés configurales pour la perception des objets consiste généralement à tester l'hypothèse de la primauté des propriétés relatives au tout. L'hypothèse est celle d'une organisation perceptive précoce susceptible de contraindre l'attention sélective, automatiquement attirée vers les objets représentés par l'unité perceptive cohérente. Les propriétés configurales sont définies comme dépendant des inter-relations entre composantes (Kimchi & Bloch, 1998). Parfois définies comme des primitives de niveau intermédiaire, il s'agit par exemple de la symétrie, de l'intersection, ou de la fermeture, caractéristiques déjà proposées par la théorie de la forme comme des propriétés de totalité. Ces propriétés configurales qui impliquent des relations entre éléments seraient immédiatement extraites directement à partir des informations atomisées au niveau de la rétine. Parfois, plusieurs lois d'organisation concourent à ce groupement. Desolneux, Moisan et Morel (2003) prennent l'exemple d'un carré tracé à l'encre noire sur une feuille blanche : il serait d'emblée perçu comme une forme grâce à la présence d'une fermeture, du parallélisme, de l'orthogonalité, de l'équidistance entre les paires de côtés opposés, de la continuité du trait et du maintien de son épaisseur.

Plusieurs propositions théoriques décrivent de tels groupements visuels précoces, basés sur la capacité du système visuel de bas niveau à détecter très rapidement et précisément quelques propriétés relationnelles ou de la totalité, avant la focalisation attentionnelle. Nous décrirons plus précisément celle de Palmer et Rock (1994a).

1.2.3. La théorie de Palmer et Rock (1994)

La théorie proposée par Palmer et Rock (1994a) propose que les unités primitives de l'organisation perceptive du champ visuel sont extraites à partir d'un principe unique, que la théorie de la forme n'aurait jamais véritablement décrit tout en la reconnaissant implicitement. Un couple de propriétés de relations seraient ainsi à l'origine des unités

perceptives de base : l'uniformité et la connexion (*i.e.*, principe d'UC : *uniform connectedness*). Les autres principes d'organisation ne participeraient au traitement que secondairement. Le principe d'UC postule qu'une région de couleur, luminance, mouvement et/ou texture homogène et exempte de discontinuité (*connectedness*) est perçue comme une unité de base. L'extraction d'une telle unité perceptive serait rapide car immédiatement basée sur l'information rétinienne. Une ségrégation de différentes régions s'opèrerait ainsi dans l'espace et un processus de séparation figure-fond permettrait ensuite aux régions identifiées comme figures de constituer des objets ou unités d'entrée pour les traitements visuels ultérieurs de plus haut niveau, soit 1/ une analyse en composantes plus élémentaires, soit 2/ un regroupement permettant de rapprocher différentes figures en s'appuyant cette fois sur une plus grande variété de principes (proximité, continuité pour l'alignement de points, fermeture...).

L'UC ne serait pas un processus de *regroupement*, car il n'opèrerait pas sur des éléments définis préalablement : il serait lui-même le processus isolant les premières unités. Deux mécanismes permettraient de repérer ces régions. L'un partirait de la similitude entre quelques pixels et étendrait la surface jusqu'à ce que la similitude disparaisse brusquement, définissant les frontières de la région. L'autre, que les auteurs soupçonnent d'être plus efficace, consisterait à détecter les bords, localisant les endroits où une différence brusque de luminance délimite les frontières : il s'agit d'un processus très différent de ceux imaginés par la théorie de la forme. Ce processus serait très efficace car il laisserait échapper de petits décalages dans les nuances de couleurs d'une unité perceptive et augmenterait ainsi les chances de repérer des objets dans l'environnement.

Les auteurs défendent la dominance de la connexion en tant que caractéristique fondant chaque unité primitive, en montrant que des points paraissent former une même unité s'ils sont reliés par un trait, même s'ils sont moins proches et/ou moins similaires entre eux qu'ils ne le sont avec d'autres points du contexte. D'après cette théorie, des points non connectés mais dont la disposition spatiale formerait une configuration seraient traités chacun comme des unités d'entrée, et ne seraient regroupés qu'ensuite en une configuration. Il n'y aurait donc pas de dominance perceptive de la forme si elle repose sur des segments disjoints. Dans un stimulus hiérarchisé tel que proposé par Navon, les unités d'entrée seraient donc au niveau local, surtout si la densité des éléments locaux est faible.

Palmer et Rock (1994a) prévoient tout de même un cas particulier pour lequel des éléments discrets seraient d'emblée perçus comme un ensemble : ils doivent pour cela se détacher du contexte par leur similarité. Par exemple, de petits traits ayant une même orientation formeront une unité perceptive d'entrée si la surface qu'ils constituent se distingue d'autres traits orientés différemment. Il s'agit ici encore du principe de l'UC, appliqué cette fois en raison de l'uniformité de texture. Dans ce cas, deux traitements précoces s'engageraient simultanément selon ce même principe : l'un dégagerait les segments comme unités perceptives à un niveau local, l'autre dégagerait parallèlement une unité plus large définie par l'uniformité de texture, tout au moins si les segments sont suffisamment proches. Les auteurs envisagent que l'extraction en parallèle de ces deux régions nichées l'une dans l'autre se fait selon un même principe, mais à des rythmes

différents : l'extraction de la région de niveau global pourrait aboutir plus rapidement que celle des différents segments locaux dans de telles scènes visuelles hiérarchisées. Grâce à cette extension de leur théorie, ils peuvent rendre compte de l'effet de supériorité du traitement de l'information au niveau global plutôt qu'au niveau local, tout au moins si les éléments locaux du stimulus hiérarchisé sont proches les uns des autres.

Tout en inscrivant leur théorie dans la continuité de la théorie de la forme, les auteurs n'accordent pas de rôle précoce aux diverses caractéristiques de forme (à l'exception de l'uniformité et de la connexion) et donc aux configurations dans les traitements visuels les plus précoces (Palmer & Rock, 1994b). Leur propos est néanmoins intéressant concernant le traitement de régions hiérarchisées.

1.2.4. Hiérarchie des propriétés de relation dans les traitements visuels précoces

Nous avons vu que, selon Palmer et Rock (1994a), les caractéristiques structurales d'uniformité de couleur ou de texture et la connexion entre les parties seraient les propriétés de relation déterminantes pour la segmentation précoce de régions visuelles, qui constitueront les unités perceptives de base représentant les objets de la sélection attentionnelle. Peut-on envisager que d'autres propriétés de relation participent à ce groupement précoce ? Une configuration complète, c'est-à-dire la combinaison complexe de plusieurs parties entretenant des relations spatiales variées peut-elle également jouer ce rôle ? La réponse à ces questions est nuancée.

Kimchi (2000) relativise ainsi la primauté du groupement fondé sur l'UC en montrant qu'un rapide processus de groupement s'opère aussi sur la base de propriétés de relation comme la fermeture, la collinéarité et la proximité, donnant lieu à des effets de dominance de la configuration sur les composantes, même si ces dernières sont disjointes. Elle présente pour cela une rapide amorce, similaire ou non aux deux stimuli présentés en cible, et pour lesquels un jugement d'identité est requis. Un effet d'amorçage par la configuration se produit même si l'amorce est un ensemble de segments disjointes ne remplissant pas les conditions de l'UC : il suffit qu'ils soient correctement disposés pour que la configuration virtuelle s'impose. Après les critères d'UC, celui qui semble guider les groupements les plus précoces semble être la proximité (Kurylo, 1997), ce qui permet de dire que la connexion des parties n'est pas nécessaire pour délimiter spontanément une forme. Des travaux comparant l'impact de diverses lois d'organisation à partir des conjonctions illusives montrent le rôle prépondérant de la relation de proximité (Cohen & Ivry, 1990 ; Prinzmetal, 1995). Han, Humphreys et Chen (1999b) observent aussi que le groupement sur la base de la proximité est plus efficace que celui qui se base sur la similarité de formes et lorsque les deux critères sont disponibles, la proximité est dominante par rapport à la similarité. De même, Han (2004) montre que la concurrence d'un rapprochement possible sur la base de la proximité affecte fortement le groupement selon le critère de similarité de forme alors que l'inverse est moins vrai. Le groupement précoce basé sur la proximité semble se produire particulièrement vite et échappe aussi aux influences de haut niveaux telles que celle de la consigne de se baser plutôt sur un autre critère pour organiser les éléments : les auteurs estiment qu'il s'agit d'un processus de groupement largement bottom-up, produisant les premières unités perceptives dans le

champ visuel. La distinction entre les deux types de groupement a d'ailleurs un corrélat électrophysiologique. Des données en potentiels évoqués (ERPs) corroborent l'antériorité du groupement basé sur la proximité, car celui-ci s'accompagne d'une activité positive 100-120 ms après la stimulation dans le cortex occipital médian et d'une onde négative occipito-pariétale 180 ms après le stimulus, alors qu'une onde négative nettement plus tardive est observée dans une région cérébrale distincte (occipito-temporale) pour un groupement basé sur la similitude de couleur (Han, Ding, & Song, 2002) ou de forme (Han, Song, Ding, Yund, & Woods, 2001).

La similarité de forme est moins efficace pour susciter des groupements, mais la ressemblance basée sur la fermeture est un cas particulier. Elle est traitée assez vite, davantage en tout cas que la similarité basée par exemple sur l'orientation (Han & Humphreys, 1999). D'une manière générale, la recherche d'une cible avec comme seul critère la présence d'une caractéristique de relation dépend du nombre de distracteurs. Il s'agirait donc d'une recherche guidée attentionnellement. Mais la fermeture constituerait un trait de relation suffisamment saillant pour une extraction automatique de la cible qui le porte (Elder & Zucker, 1993). Il s'agit d'une caractéristique très intimement liée à la forme et l'augmentation continue du degré de fermeture d'une cible s'accompagne d'une diminution régulière de l'effet du nombre de distracteurs, témoignant d'une automatisation progressive de l'extraction de la forme. Les expériences de Elder et Zucker (1993) montrent que la fermeture est un trait de relation dominant par rapport à la connectivité, ce qui nuance l'affirmation de Palmer et Rock sur le rôle primordial de l'UC. De même, des expériences réalisées avec des stimuli hiérarchisés montrent que la présence de petits éléments fermés au niveau local attire à ce point l'attention que les réponses peuvent alors être plus rapides au niveau local qu'au niveau global, ce qui est atypique (Han, Humphreys, & Chen, 1999a, 1999b ; Kimchi, 1994). De même, dans des tâches où il s'agit de juger l'orientation (lignes ou colonnes) d'éléments, Chen (1986, cité par Han & Humphreys, 1999) montre que la similarité des éléments en termes de fermeture est un critère de similarité de forme aussi rapidement extrait que le critère de proximité : seuls ces deux caractéristiques permettraient un jugement correct de l'orientation pour des stimuli présentés très brièvement.

D'autres propriétés configurales ont encore été étudiées comme critères possibles de groupement précoce, avec une logique expérimentale en deux étapes (Lasaga, 1989, cité par Kimchi & Bloch, 1998). Un ensemble de stimuli simples est d'abord choisi, en fonction des performances dans des tâches de discrimination et de classification qui évaluent leur similarité. Ces stimuli simples sont ensuite combinés de manière à créer des configurations. Des épreuves de discrimination et de classification sont alors conduites sur ces stimuli plus complexes, qui se ressemblent ou non pour la configuration générale et/ou les composantes, afin d'inférer une éventuelle dominance perceptive de l'un ou l'autre type de propriétés. Des performances systématiquement meilleures pour discriminer des figures très différentes plutôt que similaires du point de vue configural, quelle que soit la discriminabilité des composantes, de même qu'une classification plus efficace à partir des ressemblances configurales qu'à partir des similitudes des composantes, témoignent d'une dominance perceptive des propriétés configurales. Cette prédiction a été vérifiée par Kimchi (1994), sur l'exactitude et la rapidité des réponses,

dans des tâches portant sur 4 configurations : un carré, un losange, un plus (+) et une croix de Saint André (x). La classification la plus facile est celle qui rapproche les figures fermées (un carré et un losange) ou les figures ouvertes (les deux croix), et la discrimination est particulièrement difficile quand elle oppose l'une des figures ouvertes à l'une des figures fermées, ce qui confirme encore l'importance de la propriété configurale de fermeture, et ceci même lorsque les composantes ne sont pas exactement connectées. En utilisant des composantes qui diffèrent parce qu'elles sont droites ou courbes, et des configurations qui se distinguent par la fermeture ou par la symétrie, Kimchi et Bloch (1998) ont ensuite répliqué ces résultats, en prenant soin d'éviter que les tâches ne puissent s'effectuer par simple rotation mentale (ce qui était le cas pour les configurations utilisées dans leurs expériences antérieures). Ici encore, les performances de discrimination et de classification des figures ne peuvent s'expliquer par la similarité de leurs composantes, évaluée dans une expérience préalable. Une dominance perceptive des propriétés de configuration par rapport à celle des composantes est confirmée et il apparaît que la fermeture, mais aussi la symétrie (Kimchi & Bloch, 1998), constituent des propriétés particulièrement prégnantes. Par contre, l'intersection ne semble pas un trait toujours suffisant pour déterminer la détection d'une forme de manière pré-attentionnelle (Wolfe & Di Mase, 2003). La discrimination et la classification sont donc dominées par les propriétés de configuration. Les relations entre les composantes présenteraient une plus forte saillance perceptive que les composantes elles-mêmes, ce qui permettrait de les percevoir plus précocement.

Le cas des configurations complexes est particulier, car elles sont définies comme une forme combinant diverses propriétés de relations : elles impliquent donc une plus forte complexité. Certains travaux montrent qu'il n'est pas possible aux processus visuels précoces de les utiliser comme seul critère de recherche pour détecter une cible parmi des distracteurs variés (Wolfe & Bennett, 1997). Même si la forme recherchée est facilement identifiable et a une forte valeur écologique (e.g., un ensemble de traits formant un visage), sa détection parmi des distracteurs contenant les mêmes traits articulés différemment n'est pas possible sans attention si les distracteurs sont hétérogènes. De même, la détection d'un T parmi des L (qui contiennent les mêmes traits) orientés de manières variées dépend de la quantité des stimuli non-pertinents et implique donc l'attention (Wolfe, Franzel, & Cave, 1988), même si les distracteurs sont présentés dans des conditions qui évitent les mouvements des yeux (Zelinsky & Sheinberg, 1997).

Toutefois, la recherche d'une configuration n'est plus affectée par l'augmentation du nombre de distracteurs lorsque ceux-ci diffèrent de la cible par leur seule configuration et sont homogènes entre eux (Duncan & Humphreys, 1989 ; Humphreys, Quinlan, & Riddoch, 1989). Il est difficile d'interpréter de tels résultats en évoquant seulement une analyse des traits. Le processus de regroupement inter-items des distracteurs pourrait opérer non seulement sur des traits individuels, mais aussi sur des formes combinées, des unités structurées. Ainsi, bien que la configuration ne suffise pas à guider la détection automatique de la cible, la similarité entre plusieurs configurations peut par contre être prise en compte comme critère de regroupement. Ce regroupement spontané (*inter-item grouping*) permettrait de distinguer une région par rapport à laquelle se détacherait avec évidence la forme à détecter, d'autant plus facilement que la cible se distingue fortement

des distracteurs et que ces distracteurs se ressemblent entre eux (Duncan & Humphreys, 1989). La structure étendue qui se dégage ainsi fait percevoir une grande région unifiée, et il est difficile dans cet exemple de justifier les frontières de cette zone homogène sans que la configuration (traitée comme similaire) des éléments qui la composent ait été prise en compte. Les expériences dans lesquelles il s'agit de repérer une zone contenant la répétition d'une forme (région contenant des signes +) parmi des distracteurs contenant les mêmes composantes configurées différemment (L présentés dans diverses orientations) confortent aussi la précocité du traitement visuel permettant de repérer des zones homogènes pour ce qui est de la configuration des objets (Beck, 1966, cité par Wolfe & DiMase, 2003). Mais les configurations qui semblent ainsi pouvoir, dans une certaine mesure, s'imposer dès les traitements visuels précoces sont-elles véritablement des formes intégrées, organisées clairement dans la représentation mentale ? Ne s'agit-il pas plus simplement de proto-objets rassemblant des composantes sur la base de la présence de propriétés de relations, sans que l'organisation précise des composantes et des diverses relations soit encore codée, faute d'attention ?

1.2.5. Nature des combinaisons de propriétés de relation : des proto-objets aux configurations

Pour certains auteurs, il convient de distinguer des groupements de complexité variée (Rensink & Enns, 1995). Une distinction intéressante a été proposée par Wolfe et Bennett (1997) entre les *clusters* et les *configurations*. Le simple groupement pré-attentionnel d'éléments sur la base de caractéristiques de forme (intersection, parallélisme...) donnerait lieu à des *clusters* de traits rassemblant les éléments en faisceaux sans coder leur arrangement. Une croix serait alors simplement représentée comme un *proto-objet*, listant une intersection et quatre lignes dotées d'une terminaison. L'organisation de ces traits ne serait pas accessible, parce qu'ils sont encore représentés sur des plans différents (*shapeless bundles of basic features*). La prise en compte de l'agencement précis des relations entre les éléments, garantissant la représentation de la *configuration* cruciforme (*i.e.*, l'objet *croix*), nécessiterait quant à elle de l'attention.

Cette distinction pourrait rendre compte du groupement pré-attentionnel des distracteurs similaires entre eux, parce que ce sont de mêmes clusters de traits dont la similarité s'impose immédiatement, permettant l'émergence rapide de la cible qui s'en distingue peut-être pour une ou deux caractéristiques. Par contre, il serait impossible de détecter cette cible sans attention lorsque les distracteurs sont hétérogènes et que la cible n'est détectable que par le traitement précis de sa configuration.

Ainsi, les proto-objets extraits précocement se définiraient comme des groupements dont les propriétés de relation ont permis le rapprochement spontané, mais dans lesquels l'agencement précis des différents traits et des différentes relations n'est pas encore codé précisément. Les proto-objets en question seraient tout de même suffisants pour attirer l'attention, et c'est cette dernière qui permettrait alors l'agencement exact des composantes en conjonctions par une opération de binding impliquant les lobes pariétaux (pour une revue, voir Robertson, 2003).

Nous avons vu que le double principe d'UC permet de définir des régions faisant

l'objet d'une ségrégation précoce, mais aussi que certaines caractéristiques de relation peuvent participer à la constitution de proto-objets susceptibles d'orienter l'attention. Un débat persiste cependant dans la littérature scientifique sur ce sujet, car certaines données paraissent contradictoires. Sans prétendre à l'exhaustivité, le bilan qui suit propose de faire ressortir les conditions favorisant l'orientation de l'attention par des configurations constituées précocement et présente les principaux arguments expérimentaux qui soutiennent cette idée. Dans le souci de montrer jusqu'à quel point la dominance des configurations peut s'exercer, il sera question ensuite de la préemption des composantes par la configuration.

1.2.6. Attractivité de l'attention par des groupements pré-attentionnels : les arguments

Pour remettre en cause la notion de groupement pré-attentionnel lié à la Gestalt, certains auteurs considèrent que les paradigmes traditionnellement utilisés pour l'étude de traitements pré-attentionnels n'empêchent pas l'intervention d'une attention diffuse ou d'attentes spécifiques. Pour échapper à ces biais, Mack, Tang, Tuma, Kahn et Rock (1992) focalisent l'attention des sujets sur une autre tâche et une partie de l'espace distincte de celle où la forme-cible apparaît. La tâche requiert par exemple de juger si le segment le plus long d'une croix centrale est vertical ou horizontal. Cette cible est présentée sur un fond non pertinent pour la tâche. Au bout de quelques essais, le sujet, à sa grande surprise, est interrogé sur l'apparence du fond de l'item précédent. Mack et ses collègues ont montré, à plusieurs reprises, que les sujets relatent très peu de souvenirs sur l'organisation du fond vers lequel l'attention ne portait pas, et les auteurs remettent en question l'extraction pré-attentionnelle et irrépressible des formes qu'il contient. L'interprétation de telles données est cependant contestée. Les faibles performances des sujets pourraient s'expliquer par une amnésie : les souvenirs explicites d'une scène seraient très pauvres lorsqu'elle n'a pas fait l'objet de notre attention, sans que cela exclue qu'il y ait eu un traitement *on-line* de la scène.

Les travaux contribuant à reconnaître les groupements pré-attentionnels et donc la dominance perceptive des formes évitent de se contenter des seuls jugements explicites et évaluent indirectement la réalisation irrépressible de groupements en montrant leur influence sur la tâche centrale, objet de l'attention focalisée. Certaines données montrent par exemple que, même si une recherche est orientée vers des cibles d'une taille modeste, comme des lettres apparaissant à un endroit prédéterminé, les performances pour catégoriser ces lettres diminuent en présence de distracteurs involontairement regroupés à la cible parce qu'ils sont proches et partagent sa couleur (Baylis & Driver, 1992). Le principe est proche de celui des conjonctions illusoires. Ainsi, même dirigée sur un endroit précis, la sélection attentionnelle de la cible serait modulée de manière irrépressible par de tels regroupements spontanés. Selon un principe voisin, Moore et Egeth (1997) ont demandé de comparer la longueur de lignes-cibles, présentées sur un fond composé de points noirs et blancs, non pertinents pour la tâche, mais néanmoins spontanément groupés en fonction de similarités de contrastes pour produire sur la tâche centrale un effet involontaire, reproduisant les illusions de Ponzo et de Müller-Lyer. Malgré cet effet, les sujets ne pouvaient faire état d'aucun souvenir à propos de la structure de ce

fond : les groupements opérés involontairement s'effectueraient bien ici à la fois en dehors de l'attention et de la prise de conscience.

Une technique exploite encore plus directement le phénomène de groupement des éléments du fond alors que l'attention est dirigée sur une figure-cible et consiste par exemple à présenter une cible centrale (un petit carré constitué de pixels noirs et blancs) sur un fond de points alignés formant des colonnes ou des lignes basées sur la similitude de couleur ou dispersés au hasard. D'un item à l'autre, le sujet juge si l'organisation des pixels du carré a changé (Driver, Davis, Russell, Turatto, & Freeman, 2001). Les couleurs des points formant le fond changent toujours d'un item à l'autre, mais dans deux items successifs la structure en colonnes ou en lignes varie ou demeure. Les données montrent que le changement d'organisation du fond influence le jugement sur le changement de la cible centrale qui fait l'objet de l'attention, bien que les sujets soient, ici encore, incapables de relater ce changement de fond explicitement. Ce résultat témoignerait d'un groupement non-attentionnel des éléments du fond selon la règle gestaltiste de similarité de couleur.

C'est avec cette technique que la complexité de la configuration s'est avérée déterminante pour son rôle pré-attentionnel. Dans une épreuve similaire, requerrant la focalisation attentionnelle sur un carré-cible portant 12 petits carrés noirs et 13 petits carrés blancs disposés au hasard, Kimchi et Razpurker-Apfeld (2004) ont évalué l'impact d'un changement d'organisation du fond constitué de petits disques non pertinents. D'un item à l'autre, l'organisation de ce fond change systématiquement, mais celle du carré-cible ne change que dans 50% des cas. D'un item à l'autre, les sujets doivent juger si la configuration du carré-cible, sur lequel leur attention est focalisée, vient de changer. Les auteurs observent que le changement simultané de la configuration du fond et de celle du carré-cible améliore les performances, mais seulement lorsque l'organisation de ce fond se dégage facilement et n'implique pas de ségrégation figure/fond. C'est le cas lorsque l'organisation du fond implique un simple *clustering*, par exemple lorsque *tous* les disques s'organisent clairement en lignes ou en colonnes à partir des similarités de couleurs. De même, si *tous* les éléments du fond sont alignés et forment un triangle ou une flèche, l'apparition soudaine de cette configuration joue un rôle, même si l'attention est focalisée sur le carré central. L'effet existe aussi lorsque la configuration résulte non plus de disques alignés mais de segments disjoints. Contrairement à la théorie de Palmer et Rock (1994a), une configuration figurée à partir de segments disjoints pourrait donc jouer un rôle sans intervention de l'attention. L'influence irrépressible de l'apparition d'une configuration en dehors du focus attentionnel est ici interprétée comme la possibilité d'émergence d'une forme sans l'intervention de l'attention, mais l'attention serait néanmoins nécessaire pour qu'une prise de conscience de la configuration ait lieu : les sujets n'ont en effet pas été en mesure de relater les figures observées sur le fond, même si ces dernières ont influé sur leurs performances dans la tâche centrale. En revanche, si une colonne, une ligne, une croix ou un carré nécessitent de sélectionner *certains* points sur la base de leur similarité de couleur (*configuring*), le défaut d'attention ne permet pas l'extraction de la configuration, qui n'interagit donc pas avec le jugement de la cible centrale. L'attention s'imposerait donc graduellement avec l'augmentation de la complexité du processus précoce d'extraction de forme : superflue pour organiser

l'ensemble des éléments présents en configuration, elle deviendrait nécessaire lorsqu'une ségrégation figure/fond s'impose.

Par ailleurs, une autre contrainte de bas niveau semble jouer : la qualité de la bonne forme. Kimchi & Razpurker-Apfeld (2004) remarquent que la qualité de la forme favorise aussi sa représentation précoce : le triangle et la flèche formés sur le fond du stimulus ont une moindre influence par rapport à la croix et au carré. Ces derniers seraient de 'meilleures' formes, car elles contiennent davantage de symétrie, ce qui en ferait de 'bonnes formes' (Feldman, 2000, cité par Kimchi & Razpurker-Apfeld, 2004).

Toujours avec le principe de maintien de l'attention sur une tâche centrale, un effet cette fois négatif ou positif est relaté en présence d'une forme qui capture l'attention. Devant un ensemble de 9 éléments, la tâche est de prendre connaissance d'une consigne (e.g « au-dessus ») et d'en tenir compte pour juger la couleur de l'élément situé, dans cet exemple, au-dessus de l'astérisque. L'agencement des distracteurs peut, dans certains items, faire émerger une forme, non pertinente pour la tâche (Kimchi, Yeshurun, & Cohen-Savreansky, 2006) : illusion d'un carré suggéré par quatre 'pacmen' formant ses angles. Bien que l'attention soit dirigée sur le jugement de couleur, les performances sont améliorées si la cible est située dans la surface de la forme, mais elles diminuent si elle est en-dehors. Cette forme attirerait donc l'attention de manière exogène (*i.e.*, capture attentionnelle par un objet) et comme elle ne permet pas de prédire la cible, son absence de pertinence pour la tâche suggère encore une fois son extraction automatique. A partir d'une série de cinq expériences, Rauschenberger et Yantis (2001) ont examiné ce phénomène de façon détaillée. Leur tâche focalise l'attention des participants sur les éléments locaux : un ensemble de 8 pacmen alignés sur deux lignes apparaît brusquement et dans certains cas l'ensemble comporte un élément d'une forme différente qu'il faut détecter (*i.e.*, la cible : un demi-disque). Parfois, quatre des distracteurs sont disposés de façon à créer l'illusion du carré de Kanisza (illusion similaire à celle illustrée en Figure 2). Malgré la focalisation attentionnelle au niveau local, l'apparition de la forme globale capture l'attention et retarde la réponse. Par contre dans une expérience requerrant la focalisation au niveau global pour décider de quel côté pointe le triangle virtuel produit à partir de certains pacmen, l'apparition d'un nouvel élément local ne perturbe pas les performances. Les auteurs démontrent ainsi encore une fois que, même si l'attention est orientée vers une recherche au niveau local, l'apparition inattendue d'une configuration globale attire automatiquement l'attention avant que le détail nouveau ne soit traité.

L'utilisation d'une configuration particulière, la figure illusoire de Kanisza dont l'existence dépend directement de la présence et de la disposition d'éléments, autorise aussi une interprétation en termes d'organisation globale/locale. Le traitement du niveau d'analyse local serait perturbé par l'information au niveau global, alors que l'inverse n'est pas vrai dans ces expériences. Les auteurs évoquent l'intérêt écologique de cette asymétrie. L'irruption d'un nouvel objet dans l'environnement attire automatiquement l'attention, ce qui a une forte valeur adaptative pour la vie en communauté et pour la défense contre les prédateurs. Généralement, l'attention n'est cependant pas détournée par de tels événements lorsqu'elle est focalisée sur quelque chose d'autre, ce qui évite aussi une distraction excessive et préjudiciable. Il existe cependant une exception, mise

en évidence dans ces expériences, qui est la capture de l'attention par un objet global (la grande taille étant fortement corrélée à la dangérosité), même lorsque celle-ci est concentrée par ailleurs sur de petits éléments. Il semble important pour un organisme qui dirige son attention à un niveau de représentation local de rester sensible à d'importants changements au niveau plus global, alors que l'inverse est moins vrai. La frontière est parfois mince entre les travaux sur les relations entre modes de traitement global/local et l'étude de la dominance des configurations sur les composantes. Toutefois, même dans la recherche relatée, une différence existe entre les deux. Dans l'expérience de Rauschenberger et Yantis (2001) la brusque apparition d'un élément local ne perturbe pas le traitement de la grande forme sur laquelle l'attention est focalisée, alors que l'apparition tout aussi abrupte d'un élément local dans une figure hiérarchisée capture l'attention même si l'attention du participant est engagée au niveau global (Hillstrom & Yantis, 1994). Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que l'élément local subitement surgi n'est constitutif de la forme globale que dans le cas du stimulus hiérarchisé ; dans l'expérience avec le triangle de Kanizsa, ce petit élément ne change rien à la forme globale faisant l'objet de l'attention. Cela souligne l'importance de la structure hiérarchisée comme critère d'organisation perceptive précoce.

1.2.7. Prémption de la totalité sur les traits

A partir d'expériences plus clairement centrées sur la notion de configuration, dès 1977, Pomerantz, Sager et Stoeber ont observé que la discrimination de deux stimuli qui diffèrent seulement par l'orientation d'un de leurs traits (une diagonale orientée différemment dans le dessin d'une flèche et dans celui d'un triangle) est réalisée plus rapidement que la discrimination des deux diagonales présentées séparément, montrant que la différence entre les deux configurations est traitée plus rapidement que la différence entre ses traits isolés. Des effets similaires se produisent pour l'orientation de deux coins. Par contre, cet effet de la configuration n'est observé que s'il s'agit d'une véritable forme et non de traits assemblés mais disposés au hasard. Les auteurs estiment que le contexte constitué par une forme aide la perception des composantes, dont il devient difficile de postuler un traitement indépendant préalable.

L'idée de prémption de la forme sur les traits va plus loin : lorsqu'ils contribuent à l'organisation interne d'une forme, les traits qui la composent ne seraient accessibles qu'avec difficulté de manière isolée. Certains travaux décrivent une dominance de la forme si importante qu'elle ne peut être perçue que sur le mode du tout-ou-rien, avec une difficulté à diriger l'attention sélective sur des parties (Pomerantz & Pristach, 1989). Pour ces auteurs, ce phénomène ne s'explique pas directement par la supériorité de la forme générale de l'objet sur les traits, mais plus simplement par la supériorité des caractéristiques de relations entre les segments : de simples proto-objets, faisceaux de traits groupés parce qu'ils entretiennent des relations, pourraient donc déjà avoir un tel rôle.

Rensink et Enns (1995) se font les avocats de cette *prémption* de la totalité sur les traits, à l'issue d'un ensemble d'épreuves de recherche visuelle réalisées avec des stimuli de Müller-Lyer. La cible est un segment délimité de chaque côté par des ailettes qui pointent vers l'extérieur, parmi des distracteurs constitués d'un segment avec des ailettes

pointant vers l'intérieur. La cible à détecter se distingue par sa forme, mais elle se distingue aussi par la longueur du segment, ou par la longueur de l'ensemble du stimulus, ou par les deux. Les résultats montrent que les performances ne sont influencées que par la variation de la longueur totale du stimulus et pas par la variation de la longueur du segment central. Cela suggère que les cibles sont détectées sur la base des configurations plutôt que des segments, pourtant faciles à traiter en présentation isolée. Lorsqu'elles sont prises dans une configuration, les composantes ne seraient donc pas toujours accessibles à la recherche visuelle rapide et elles subiraient une préemption, car une rapide opération de groupement de bas niveau les lierait lors d'une étape plus élémentaire que celle accessible à la recherche visuelle. Cette idée est conforme à la théorie de la Gestalt, selon laquelle les inter-relations entre les composantes déterminent la structure perceptive de la forme (Hoffman, 1996). Toutes les relations spatiales ne seraient donc pas nécessairement prises en charge par des niveaux de traitements attentionnels secondaires, séparés de niveaux pré-attentionnels dévolus au traitement des composantes comme le décrit Treisman (1988), et certaines structures seraient accessibles rapidement.

Ces effets sont répliqués dans des expériences présentant des stimuli de Müller-Lyer dont les segments ne sont pas connectés : ils sont constitués de lignes virtuelles entre des points non reliés, ou de segments de luminance variée. Il semble donc que la forme accessible rapidement dans ces expériences, si précoce et irrépessible qu'elle exerce une préemption sur les composantes, n'ait néanmoins pas émergé à partir du principe d'UC décrit par Palmer et Rock (1994a). La forme pourrait ainsi imposer de fortes contraintes aux traitements visuels précoces à partir d'autres critères que l'uniformité de couleur ou de luminance, ou de connexion. La dominance perceptive induite par la présence de diverses propriétés de relations a été évoquée en 1.2.4.

1.3. Distinction entre les relations configuration/composantes et les niveaux global/local

Les termes 'global', 'holistique', 'configuration', sont souvent employés de manière indifférenciée dans la littérature traitant des rapports entre le tout et ses parties. Toutefois, les oppositions global/local et configuration/composantes ne seraient pas totalement interchangeables.

Nous avons vu qu'un ensemble de composantes peut constituer d'emblée une unité perceptive, ceci de manière précoce et au moins en partie pré-attentionnelle. Un tel groupement s'opère sur la base de la présence de propriétés de relations (propriétés configurales) dans la scène : proximité entre des éléments, connexion, similitude de couleur et/ou de forme, présence de fermeture, d'intersection...). L'unité perceptive ainsi isolée est déjà une forme, isolable comme une totalité, mais elle rassemblerait des composantes dont l'agencement précis n'est pas encore codé, car l'intervention de l'attention sera nécessaire à l'opération de *binding* pour cela requise. Ce groupement précoce est un traitement configural. D'une certaine manière, il s'agit aussi d'un traitement global par opposition à un traitement local susceptible d'isoler des unités perceptives à un niveau plus détaillé (les composantes), lors d'une analyse secondaire selon la perspective

gestaltiste, ou au préalable selon la perspective structuraliste.

Aujourd'hui, une distinction est cependant revendiquée par certains auteurs entre le traitement configural et le traitement global, considérés comme deux processus distincts de traitement d'une totalité. La nuance entre les deux est toutefois subtile, à notre connaissance rarement décrite explicitement et elle reste délicate à définir.

1.3.1. Argument pour un traitement visuo-spatial propre au niveau global

Dans le cas des stimuli hiérarchisés (e.g., un grand carré composée de la juxtaposition de petits cercles), les deux aspects du traitement de la totalité pourraient être distingués. Dans notre exemple, que l'unité perceptive traitée soit la petite ou la grande forme, son extraction repose sur un traitement configural, grâce aux propriétés de fermeture, présentes pour l'une comme pour l'autre. Si la proximité entre les éléments est suffisante, nous avons vu que l'absence de connexions entre les éléments n'est pas un obstacle majeur au traitement de la propriété de relation (fermeture) contribuant à former ici la configuration globale. Dans ce cas, ce qui diffère vraiment entre la détection des petites et grande formes est le mode de traitement local ou global qu'elles impliquent. Cette distinction repose sur le niveau de hiérarchie où se situent les formes. Ce type de stimuli permet donc de traiter de l'opposition entre global et local. Dans une expérience manipulant de manière orthogonale le caractère configural (fermeture ou intersection) ou non configural (simple ligne orientée : oblique vs. droite) des propriétés d'une part, et leur niveau global ou local d'autre part, Kimchi (1994, Expérience 5) observe de meilleures performances pour le traitement au niveau global qu'au niveau local, que ce niveau global soit une véritable configuration (carré, losange, croix) ou une simple ligne orientée, à condition qu'il n'y ait pas de propriété configurale au niveau local. Ainsi, un avantage du niveau global est possible indépendamment de la présence de propriétés configurales au niveau global, et en cela la distinction entre modes de traitement global et local semble pertinente. Toutefois, lorsque les éléments au niveau local contiennent des propriétés configurales (ici, la fermeture), l'avantage du niveau global disparaît. Ces résultats nous apprennent trois choses.

Premièrement, comme un avantage du niveau global est observé en l'absence de propriétés configurales à l'un et l'autre niveaux, cet avantage repose sur autre chose que la seule priorité de traitement dont les propriétés configurales sont censées faire l'objet. Aussi, comme le conclut Kimchi (1994), l'avantage du niveau global ne doit pas être tenu comme un argument direct pour la primauté des propriétés configurales ou de totalité (*wholistic properties*).

Deuxièmement, les propriétés configurales, définies non par leur position dans la structure hiérarchique de l'objet mais par la présence d'inter-relations entre les composantes, sont à ce point saillantes pour le système visuel qu'elles peuvent masquer l'effet de supériorité du niveau global, lorsqu'elles offrent une concurrence au niveau local.

Troisièmement, nous pouvons aussi en déduire que le paradigme des stimuli hiérarchisés présente un risque : celui de ne pas toujours permettre d'interpréter la distinction entre les modes de traitement global et local indépendamment de certains effets dus à des propriétés configurales plus ou moins saillantes. C'est pourquoi il nous

semble important, dans les expériences traitant d'une question relative aux modes de traitement global et local, d'équilibrer l'un et l'autre niveaux en termes de propriétés configurales, ces dernières devant être absentes aux deux niveaux ou présentes aux deux niveaux. Pomerantz, Sager, et Stover (1977) avaient notamment procédé ainsi, et tenté d'équilibrer la discriminabilité des niveaux global et local en proposant des configurations aux deux niveaux (grand X composé de + ou de cercles).

1.3.2. Argument pour un traitement visuo-spatial propre à la configuration

Pour faire ressortir ce qui est propre au traitement configural, d'autres types de stimuli ont été utilisés, notamment par Rondan et Deruelle (2006). Ces stimuli (des dessins de visages stylisés) devaient mettre à disposition à la fois une forme d'ensemble et des composantes, pour distinguer des traitements configuraux de ceux qui ne le seraient pas. Dans cette étude, la condition pour parler de traitement configural est liée à la *nature* des propriétés de relation. Deux cercles identiques représentent les yeux, répartis de façon symétrique par rapport à un rectangle représentant le nez, lui-même au-dessus d'un autre élément constituant la bouche. La tâche est de comparer un tel stimulus-cible à deux autres pour l'apparier selon la ressemblance d'ensemble, abstraction faite de la ressemblance des composantes (les yeux d'un autre visage peuvent par exemple être représentés par des carrés, mais ils sont situés à la même distance du nez que dans le visage-cible). Pour cette tâche, la disposition des éléments les uns par rapport aux autres (relations spatiales catégorielles telle que 'au-dessus de', 'à gauche de'...) n'est pas discriminante et il faut tenir compte des distances précises entre éléments (relations spatiales coordonnées). De telles propriétés de relation sont particulièrement fines et leur traitement est vraisemblablement sous-tendu par des régions cérébrales spécifiques de l'hémisphère droit (Kosslyn & Koenig, 1992). Seuls les appariements réalisés sur la base de ces relations spatiales coordonnées sont considérés par les auteurs comme le fruit d'un traitement configural. Pour eux, si l'appariement des visages est au contraire réalisé à partir de la ressemblance entre les composantes, sans tenir compte des distances, le traitement n'est pas configural mais local.

Si l'on se réfère à Kimchi (1994), il est possible de discuter l'opposition configural/local dans cet exemple. Un appariement guidé par la ressemblance entre les éléments est certes qualifiable de local, eut égard à leur position hiérarchique dans l'objet, mais il n'exclut pas tout traitement configural : au niveau local, la représentation d'un élément comme un cercle (*i.e.*, oeil) est un groupement doté d'une forme basée sur une propriété de relation. Il nous semble que les deux stratégies d'appariement se distinguent par le niveau de la hiérarchie sur lequel se trouve la (les) forme(s) prise(s) en compte pour les comparaisons : ici encore, le traitement est soit local, soit global. Toutefois, et contrairement aux stimuli hiérarchisés classiques (utilisés dans leur Expérience 1), la *complexité* du traitement configural diffère entre les niveaux global et local dans l'Expérience 2 proposant des visages, et c'est ce qui est visé par Rondan et Deruelle (2006) pour isoler et étudier un effet propre au traitement configural (*i.e.*, ici, l'effet de propriétés de relations spatiales coordonnées) et non au traitement global. La comparaison des performances entre l'Expérience 1, qui teste l'opposition global/local, et l'Expérience 2, qui nous semble tester la même opposition mais en augmentant la

complexité du traitement configural au niveau global, est propice à détecter une éventuelle difficulté de traitement concernant la configuration, les relations spatiales fines, et non le niveau global lui-même. Aussi, l'impact d'une telle difficulté spécifique serait un bon argument pour la distinction entre les notions de traitements global et configural.

L'observation de résultats obtenus auprès de personnes autistes va dans le sens de cette dissociation, aussi bien chez de jeunes patients (Deruelle, Rondan, Gepner, & Fagot, in press) que chez des adultes (Rondan & Deruelle, 2006). Les données montrent que ces patients peuvent réaliser correctement le traitement au niveau global (présence de l'effet de supériorité du niveau global, Expérience 1), mais le négligent au profit du niveau local lorsque le traitement configural requis au niveau global implique la prise en compte de relations spatiales coordonnées. Si l'on se réfère à un modèle comme celui de Kosslyn et Koenig (1995), de telles propriétés de relation sont traitées moins spontanément que d'autres propriétés relationnelles comme la fermeture, la proximité, la similarité, quant à elles souvent présentes au niveau global des stimuli hiérarchisés classiques. Les relations spatiales coordonnées sont le fruit d'une analyse ultérieure au premier groupement '*quick and dirty*' représentant la forme 'visage', ce qui pose apparemment problème aux personnes autistes et pourrait contribuer à leurs difficultés d'identification des visages et des expressions, en plus de leurs difficultés avec les informations du domaine social (Behrmann, Thomas, & Humphreys, 2006b). D'autres travaux relatent aussi, chez de jeunes autistes, une stratégie de traitement des visages centrés sur une analyse séquentielle des détails, alors que les enfants de leur âge, mais sans pathologie, les traitent spontanément dans leur ensemble (Hobson, Ouston, & Lee, 1988) et sont par conséquent davantage perturbés que les autistes par la présentation inversée d'une image (Rondan & Deruelle, 2004). Même en dehors des visages, le traitement de relations spatiales très fines imposé par la comparaison de stimuli comme des chats, des chevaux ou des motos apparaît perturbé en cas de désordre autistique (Blair, Frith, Smith, Abell, & Cipolotti, 2002) ; c'est aussi le cas pour des catégories d'objets non familiers si des discriminations fines au niveau de caractéristiques configurales sont nécessaires (Behrmann et al., 2006a).

La dissociation mise en évidence par Rondan et Deruelle (2006) est particulièrement intéressante, car elle apporte un éclairage nouveau sur les contradictions dans les données de la littérature évoquant une difficulté des patients autistes à traiter l'information globale. Les expériences conduites avec des stimuli hiérarchisés auprès de tels patients procurent en effet des données hétérogènes. Certaines attestent une prédominance du traitement local chez les patients (Behrmann & al., 2006a) ou une détérioration du traitement global dans certaines conditions (Plaisted & al., 1999, Experiment 2 ; Rinehart et al., 2000), mais ce n'est pas systématique (Deruelle, Rondan, Gepner, & Fagot, in press ; Mottron, Burack, Stauder, & Robaey, 1999b ; Mottron, Burack, Iarocci, Belleville & Enns, 2003 ; Ozonoff & Lundberg, 1994). Cela suggère qu'en opposant seulement les niveaux global et local, les expériences avec les stimuli hiérarchisés ne testent pas directement un déficit central pour les autistes.

D'après la théorie de la cohérence centrale, les personnes autistes présenteraient une difficulté à intégrer l'information en un tout cohérent lors de traitements conceptuels de haut niveau, mais un déficit de traitement de la forme d'ensemble d'un stimulus visuel

et de la perception d'une *gestalt* pourrait aussi être un problème-pivot dans l'autisme (Frith, 1989 ; Frith & Happé, 1994 ; Happé, Briskman, & Frith, 2001). Chez ces patients, tous les traitements configuraux ne semblent cependant pas uniformément déficitaires. Certes, l'ampleur du déficit peut varier, certains patients présentant des perturbations de groupement spontané selon les règles gestaltistes les plus simples, ne traitant par exemple pas un ensemble d'objets comme organisé en lignes ou colonnes en fonction de leur proximité ou de leur similarité (Brosnan & al., 2004). Les travaux qui attestent toutefois chez certains autistes de l'intégrité du processus de traitement global, présentent aussi une relative préservation des traitements configuraux les plus simples, comme le traitement spontané de la fermeture ou certains traitements holistiques très élémentaires portant sur des contours, des silhouettes (Deruelle & Rondan, 2004). Aussi, un certain consensus se dégage à propos d'un déficit des traitements configuraux les plus complexes du point de vue spatial (ou *de second niveau*) dans cette pathologie. Il est par exemple mis en évidence chez des adultes autistes de haut niveau (Behrmann & al., 2006a), mais aussi chez des enfants autistes comparés à des enfants au développement normal appariés pour les compétences non verbales (Rouse, Donnelly, Hadwin, & Brown, 2004).

L'interprétation de Rondan et Deruelle (2006) semble aussi cohérente avec l'observation de performances étonnamment élevées chez des patients autistes qui doivent détecter un trait-cible dans un contexte riche en distracteurs (Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen, 1998), retrouver le dessin d'un objet caché dont le tracé est rendu confus par la superposition d'autres dessins enchevêtrés (*embedded figures*) (Brosnan, Scott, Fox, & Pye, 2004 ; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997 ; Shah & Frith, 1983), réaliser l'épreuve des blocs de Wechsler en disposant correctement plusieurs cubes bicolores pour reproduire une forme présentée comme modèle (Shah & Frith, 1993) ou encore reproduire le dessin de figures impossibles (Mottron, Belleville, & Ménard, 1999a) dont ils identifient difficilement l'incohérence (Scott & Baron-Cohen, 1996). Les bonnes performances à ces épreuves témoigneraient moins d'une difficulté à traiter le niveau hiérarchique global que d'une attraction particulière pour les composantes (traits), lorsqu'elles composent des configurations trop complexes.

1.3.3. Une indépendance très relative des traitements global et configural

En dehors de l'étude de pathologies, les travaux de Luna et Montoro (2006) auprès de jeunes adultes sains montrent aussi que le mode de traitement global et le traitement configural constituent deux aspects du traitement d'une totalité en partie indépendants : seule la perturbation d'une composante des traitements configuraux, encore une fois le traitement de relations spatiales fines, peut faire disparaître l'effet de supériorité du niveau global. Ces auteurs montrent en effet une détérioration de l'effet de supériorité du niveau global lorsque la configuration devient difficile à extraire à cause de l'irrégularité de la taille des éléments ou de l'hétérogénéité des distances les séparant. Dans de tels stimuli, les relations spatiales sont affectées et l'effet de supériorité du niveau global diminue. Han & Humphreys (1999a) montrent aussi qu'en empêchant de grouper les éléments sur la base de leur proximité et en ne permettant ce groupement que sur la base de la similarité de forme, l'avantage du niveau global disparaît.

Par contre, Luna et Mоторo (2006) montrent que l'ajout d'une hétérogénéité supplémentaire avec la diversification des couleurs des éléments n'accroît pas la détérioration du traitement global, ce qui met en avant le rôle fondamental des relations spatiales dans le traitement du niveau global, par opposition à la similarité de nature des éléments. Cela concorde avec la définition que Pomerantz (1983) donne des stimuli hiérarchisés, conçus comme des configurations de type P (pour lesquelles seules les relations spatiales entre les éléments sont pertinentes) et non de type N (pour lesquelles l'emplacement et la nature des éléments déterminent l'identification de la forme globale). Miller, dès 1981, avait déjà montré que lorsque l'attention est focalisée sur le niveau global, le traitement des cibles à ce niveau n'est pas influencé par le fait que les éléments locaux consistent en une répétition d'une seule et même lettre, ou en un mélange de plusieurs lettres. La persistance des effets de dominance du niveau global malgré l'hétérogénéité des éléments locaux a également été confirmée par Yassky (1991, citée par Navon, 2003). Enfin, Navon (2003) a réalisé plusieurs expériences montrant que l'hétérogénéité des formes des éléments avait un faible impact sur l'avantage du niveau global. Les études conduites sur le poids relatif des groupements selon la proximité ou la similarité sur l'avantage du niveau global conduites par l'équipe de Han et Humphreys (1999) indiquent également le caractère plus crucial du groupement selon la proximité pour le traitement du niveau global. Des données en potentiels évoqués concordent aussi avec cette différence, montrant que le groupement selon la proximité se traduit par des manifestations au niveau du cortex primaire dès 100-120 ms de stimulation visuelle, les indices électrophysiologiques de groupement selon la similarité se manifestant plus tardivement.

En bref, l'avantage du niveau global résiste à certains facteurs relatifs aux configurations et s'exprime indépendamment de difficultés à réaliser le groupement basé sur la similarité de couleur ou de forme, mais le groupement basé sur les relations spatiales doit pouvoir se réaliser dans de bonnes conditions pour que l'avantage du niveau global se produise. Même si l'avantage du niveau global ne se réduit pas à la perception d'une surface dotée d'une texture parfaitement unitaire (Navon, 2003), une trop grande difficulté à traiter les relations spatiales entre éléments entrave gravement le traitement du niveau global. Bien que la possibilité de réaliser un traitement sur un mode global ne soit pas totalement assimilable à la capacité à traiter une configuration (Kimchi, 1994), sa vulnérabilité à la difficulté du traitement des relations spatiales fines souligne le lien entre certains aspects des traitements de configurations et ce mode de traitement. Aussi, même si la distinction entre deux aspects des traitements d'une totalité semble pertinente, il est difficile de faire abstraction de tout traitement configural lorsqu'on s'intéresse à l'opposition entre traitements visuels global et local. C'est pourquoi le chapitre que nous avons proposé sur le traitement des propriétés configurales nous semblait apporter des éléments importants, même si le questionnement central de notre thèse concerne plus précisément la distinction entre les modes de traitement définis par le niveau de hiérarchie sélectionné.

Nous avons vu que le traitement d'un stimulus hiérarchisé implique généralement, au niveau local comme au niveau global, un traitement configural débouchant sur la détection ou la discrimination de forme(s). Dans le cas où la complexité configurale des

formes serait équilibrée entre niveaux global et local, la différence essentielle entre le traitement des petites et grande formes pourrait être une question de hiérarchie. Il serait alors possible de décrire deux modes de traitement visuel distincts, adaptés à la prise en charge des niveaux. Il conviendra de préciser en quoi ils se distinguent. Une quantité importante de recherches a contribué à répondre à ce questionnement. S'agit-il vraiment de deux modes de traitement différents, ou bien la différence entre les deux s'explique-t-elle plus simplement par une différence de taille de fenêtre attentionnelle, sans que la nature du traitement diffère vraiment ? Quels sont les rapports entre les deux traitements : dépendent-ils l'un de l'autre, sont-ils effectués selon une séquence stricte ? Les caractéristiques d'un traitement de mode global ou local sont-elles seulement déterminées par la place des formes dans la hiérarchie de l'objet, ou sont-elles modulables par des influences de plus haut niveau ? Si le traitement de chaque niveau correspond à des modes de traitement différents, comment se fait le passage entre les deux ?

2.Traitement des niveaux global et local chez l'adulte

2.1. Phénomène d'avantage du niveau global sur le niveau local

Au-delà de l'expérience quotidienne, des travaux expérimentaux utilisant des stimuli hiérarchisés ont permis de montrer une plus grande efficacité du système visuel à opérer certains traitements (détection, discrimination de formes...) au niveau global plutôt qu'au niveau local. Kinchla (1974) fut le premier à proposer ce type de stimuli, mais Navon (1977) développa leur utilisation expérimentale. Il s'agit de stimuli visuels complexes combinant des informations à l'un et l'autre niveau (*compound stimuli*). Après un rappel des expériences princeps de Navon, mettant en évidence deux effets fondant l'idée d'*avantage du niveau global*, nous présenterons l'évolution des interprétations de ces phénomènes, au fur et à mesure des découvertes sur le fonctionnement du système visuel et de l'importance croissante accordée aux aspects attentionnels dans l'étude des traitements visuo-spatiaux.

2.1.1. Deux manifestations de l'avantage du niveau global : rapidité de traitement et asymétrie de l'interférence

Parmi les expériences de son article de 1977, Navon présente une épreuve dans laquelle le participant est invité à discriminer le nom d'une lettre (H ou S) entendu dans un casque, pendant qu'il perçoit visuellement une lettre hiérarchisée dont le niveau global peut être la lettre entendue (condition avec compatibilité), l'autre lettre (condition piège) ou un carré (condition neutre) ; le niveau local est constitué de la répétition d'un même élément qui est soit la même lettre qu'au niveau global, soit la lettre concurrente, soit le carré (Expérience 2). Dans deux phases contrôles, le stimulus visuel n'est pas hiérarchisé : il s'agit d'un H, d'un S ou d'un carré de la taille du stimulus global, ou bien de la taille du stimulus local.

L'auteur relate un effet du facteur compatibilité entre le nom de lettre entendu et le stimulus présenté au niveau global des stimuli hiérarchisés, alors que cette compatibilité avec l'information visuelle située au niveau local n'a pas d'effet. L'absence d'effet de l'information située au niveau local ne s'explique pas seulement par la petite taille des éléments locaux, mais bien par leur position dans la hiérarchie du stimulus, puisque dans la phase contrôle (présentation d'une lettre isolée) la compatibilité produit un effet positif et l'incompatibilité un effet négatif, quelle que soit la taille de cette lettre non-hiérarchisée. Navon conclut que le système visuel dispose d'une capacité suffisante pour traiter les détails, mais que leur traitement est abandonné aussitôt qu'une interprétation est possible au niveau global.

Navon reprendra plus tard ce principe d'expérience dérivé de l'effet Stroop (Navon, 1991), mais dans l'Expérience 3 de son article de 1977, il abandonne l'aspect intermodal de l'épreuve, et ne laisse plus le participant totalement libre de traiter le stimulus visuel. Il cherche en effet à évaluer s'il est possible de traiter les détails d'un stimulus hiérarchisé quand l'attention est volontairement focalisée sur le niveau local, et s'il est possible d'inhiber l'information présente au niveau global. A travers les Expériences 2 et 3 se profilent ainsi les deux situations expérimentales les plus fréquemment utilisées depuis avec des stimuli hiérarchisés : les situations dites *d'attention divisée* entre les niveaux et les situations *d'attention focalisée*. Dans l'Expérience 3, Navon reprend une partie des stimuli visuels de la phase test de l'Expérience 2 et la tâche consiste à focaliser l'attention sur l'un ou l'autre niveau, selon le bloc de l'épreuve, pour discriminer la lettre H ou S toujours présente au niveau sélectionné. Les stimuli visuels sont cette fois présentés brièvement, masqués, et leur lieu d'apparition varie aléatoirement pour éviter de réaliser l'épreuve de focalisation au niveau local en restreignant simplement la fenêtre attentionnelle sur une partie précise de l'écran. Les résultats répliquent tout d'abord la supériorité des performances au niveau global. Ils montrent aussi que les temps de réponse ne sont pas influencés par le contenu local lorsque l'attention est dirigée au niveau global, alors qu'une lettre incompatible au niveau global retarde la réponse si l'attention est dirigée au niveau local. Navon met ainsi en évidence une *asymétrie de l'interférence* entre les niveaux. Il pense qu'elle reflète le caractère inévitable du traitement de l'information globale. L'interférence très marquée de l'information située au niveau global dans une tâche de sélection de l'information locale a été souvent reproduite, notamment par Peressotti, Rumiat, Nicoletti et Job (1991) et l'asymétrie de l'interférence a été également répliquée (Luna, Merino, & Marcos-Ruiz, 1990 ; Navon & Norman, 1983 ; Proverbio, Minniti, & Zani, 1998).

2.1.2. Interprétation par la précédenance du traitement global

Navon considère les meilleures performances au niveau global et l'asymétrie de l'interférence comme deux manifestations de la dominance du niveau global sur le niveau local, mais il va plus loin en leur imaginant une origine commune : la *précédenance temporelle* du traitement au niveau global. Selon cette interprétation, l'avantage du niveau global viendrait de la séquentialité du traitement des niveaux, les détails n'étant traités qu'après la forme globale, conformément au point de vue défendu par la théorie de la forme. L'avantage du niveau global est donc, selon Navon, un effet purement perceptif : le

système visuel est d'abord sensible à l'information située au niveau global puis au niveau local, et l'identité de l'information globale serait disponible tellement tôt qu'elle interférerait au niveau de la réponse, même si les éléments locaux sont identifiés parce que la consigne l'exige. Nous verrons que d'autres interprétations reprennent ces idées, sans forcément retenir l'aspect strictement successif des traitements global puis local, qui est propre à l'interprétation de Navon en 1977, et qu'il inscrit dans la perspective gestaltiste postulant que l'analyse perceptive commence par la structure globale et se raffine peu à peu dans les détails.

Plus tard, Navon (1981) lui-même exprime l'interprétation différemment, décrivant l'analyse du niveau local comme une fonction moins rapide que celle du niveau global, sans que cela implique le décalage du démarrage des deux traitements : seul leurs aboutissements seraient séquentiels. Ainsi, la structure globale du stimulus serait disponible à la fois pour l'identification et les processus de réponse avant les détails, mais cela n'impliquerait pas forcément que l'analyse locale se déclenche seulement après l'aboutissement du traitement global. Dans un article plus récent, Navon conclut que les effets attestant l'avantage du niveau global sont suffisamment stables pour témoigner de l'existence d'une véritable *disposition* ou préférence, de nature perceptive, du système visuel pour l'information globale (Navon, 2003).

2.1.3. Interprétation par la différence de rythme de deux traitements parallèles

Tout en s'inscrivant elle aussi dans le cadre des explications perceptives de l'avantage du niveau global, une autre interprétation insiste sur le parallélisme de la prise en charge précoce des traitements global et local par des voies visuelles distinctes.

2.1.3.1. PRÉCOCITÉ DU PARALLÉLISME DES TRAITEMENTS GLOBAL ET LOCAL

Des arguments neuropsychologiques viennent appuyer la thèse d'une prise en charge des traitements global et local par des régions cérébrales distinctes, susceptibles de fonctionner en parallèle. Notamment, en cas de lésion centrée sur la partie postérieure du gyrus temporal supérieur gauche, les patients répondent à l'information globale nettement plus tôt qu'à l'information locale, alors que l'inverse est observé chez des patients atteints de lésions dans une région analogue dans l'hémisphère droit (HD). Ces observations ont été faites à partir de tâches de dessins où il s'agit de reproduire des stimuli hiérarchisés (Delis, Robertson, & Efron, 1986), ou bien la figure de Rey Osterreith. Comme ces troubles ne sont pas liés à une baisse de l'acuité visuelle, il semble que deux systèmes de traitement visuels accordent un poids différent aux niveaux global et local, sans toutefois traiter l'un d'eux de manière exclusive (Robertson & Lamb, 1991). Des travaux recueillant des temps de réponse et conduits un an après l'accident de patients atteints de petites lésions focales et unilatérales des aires pariétales postérieures ont conforté cette configuration de résultats, les atteintes cérébrales postérieures droites ralentissant surtout le traitement global et les atteintes gauches ralentissant le traitement local (Lamb, Robertson, & Knight, 1989, 1990 ; Robertson, Lamb, & Knight, 1988) : ces éléments concordent avec une possibilité de prise en charge en parallèle des deux niveaux d'analyse visuelle.

Des travaux en potentiels évoqués plaident en faveur de la précocité du parallélisme de cette prise en charge des informations selon leur niveau. Heinze et Münte (1993) ont décrit une onde négative postérieure (N250) mesurée entre 250 et 350 ms après le stimulus et dont la distribution topographique varie selon le niveau où la cible apparaît dans une tâche d'attention divisée. Ils existe donc des corrélats électrophysiologiques de la différence entre les traitements à l'un et l'autre niveaux ; ils seraient sous-tendus par des systèmes séparés qui n'interagiraient pas, au moins à cette étape, puisque le N250 n'est pas modifié en cas d'interférence venant du niveau où la cible n'est pas située. Notons toutefois que cette absence de modulation de l'onde par l'interférence pourrait venir du paradigme utilisé : il s'agit d'épreuves d'attention divisée demandant une discrimination entre deux cibles et la concurrence ne peut venir de l'autre cible puisque les deux cibles ne sont jamais présentes dans le même stimulus. Cette concurrence ne vient donc que de la présence, à l'autre niveau, de dessins assez similaires, ce qui peut expliquer leur faible influence. Toujours avec le paradigme d'attention divisée, Deruelle et Neville (1994, cités par Proverbio et al. 1998) ont quant à eux observé que l'onde N250 se déclenche plus précocement lorsque la cible est située au niveau global plutôt qu'au niveau local. Cela confirme, d'une autre manière, la distinction entre les deux traitements et témoigne d'une origine perceptive relativement tardive de l'avantage du niveau global. Des données plus récentes en potentiels évoqués, utilisant cette fois des tâches d'attention focalisée, montrent que la focalisation sur un niveau plutôt qu'un autre se traduit par la modulation d'une onde beaucoup plus précoce (P1) entre 80 et 100 premières millisecondes après l'apparition du stimulus (Evans, Shedden, Hevenor, & Hahn, 2000), onde dont le générateur a été situé dans les aires extra-striées impliquées dans le traitement visuel précoce (Mangun & Hillyard, 1995, cité par Evans et al., 2000). Han, He et Woods (2000) ont enfin confirmé que le premier corrélat électrophysiologique de la différence entre traitements global et local se manifeste au niveau visuel dans les 110 premières millisecondes de traitement, cette fois dans une expérience d'attention divisée. Des données en imagerie cérébrale concluent également à cette différenciation précoce du traitement de l'information selon le niveau, en décrivant des activations cérébrales distinctes, notamment pour leur latéralisation hémisphérique, dans les aires visuelles extra-striées (Fink, Halligan, Marshall, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1996 ; Fink, Marshall, Halligan, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1997a).

Par ailleurs, un ensemble de données montre que l'avantage du niveau global n'est pas sensible à l'hétérogénéité de la forme des différents éléments au niveau local (Luna & Montoro, 2006 ; Miller, 1981 ; Navon, 2003 ; Yassky, 1991, cité par Navon, 2003). Cette absence de sensibilité du traitement global à une caractéristique physique de l'information de niveau local témoignerait aussi de l'indépendance du déroulement des traitements à l'un et l'autre niveaux.

2.1.3.2. RAPIDITÉ DE TRAITEMENT GLOBAL EXPLIQUÉE PAR LE CONTENU EN FRÉQUENCES SPATIALES

Dans cette perspective insistant sur le traitement en parallèle des deux niveaux, l'effet de supériorité du niveau global est souvent expliqué par la différence de vitesse de traitement des voies visuelles qui véhiculent l'un ou l'autre types d'informations, caractérisés par la

hauteur de leurs fréquences spatiales.

Avant de s'intéresser à ce type d'interprétation, il convient de ne pas négliger une explication alternative, plus simple, évoquant une meilleure visibilité de l'information au niveau global qu'au niveau local (Pomerantz, 1983). Hughes, Layton, Baird et Lester (1984) ont pu l'écarter en montrant la persistance de la dominance du niveau global lorsque la visibilité du signal est équilibrée entre les niveaux. De même, Ward (1982, Expérience 3) observe une interférence venant du niveau global, mais pas d'interférence issue du niveau local, alors que les temps de réponse de base aux cibles globales et locales ne diffèrent pas (ce qui atteste une équivalence de discriminabilité). L'avantage du niveau global ne viendrait donc pas d'une simple différence de discriminabilité des cibles aux niveaux global *versus* local et il est donc pertinent de lui chercher une autre origine.

Des recherches en psychophysique expliquent la rapidité du traitement du niveau global par le fait que les deux niveaux de structure d'une image seraient codés indépendamment par des fréquences spatiales hautes et basses, les unes et les autres étant prises en charge par des voies visuelles distinctes, avec une plus grande rapidité de transmission de l'information sur les fréquences spatiales basses (Breitmeyer, 1975 ; Lupp, Hauske, & Wolfe, 1976 ; Michimata, Okubo, & Mugishima, 1999). Il se trouve en effet que la forme globale d'un stimulus hiérarchisé contient généralement davantage de fréquences spatiales basses, alors que les éléments au niveau local contiennent surtout des fréquences spatiales élevées. Shulman, Sullivan, Gish et Sakoda (1986) l'ont montré avec un paradigme expérimental en deux étapes. Lors d'une phase d'habituation, des stimuli contenant soit des hautes soit des basses fréquences spatiales étaient présentés répétitivement, au point de produire un phénomène de désensibilisation aux fréquences spatiales en question. En phase 2, les sujets devaient ensuite traiter des stimuli hiérarchisés. Les données montrent que l'altération du traitement au niveau global est produite par l'habituation intensive avec des fréquences spatiales plus basses que celles pouvant altérer le traitement ultérieur des cibles locales. Des données en électrophysiologie permettent d'ajouter que la distinction du traitement des fréquences spatiales selon leur hauteur, supposée à l'origine de la différence du traitement des deux niveaux, se ferait dès les premières étapes de traitement visuel. Cette distinction a en effet pour corrélats électrophysiologiques précoces l'onde N110, qui n'apparaît que pour le traitement de fréquences spatiales élevées et les ondes N170 et P220 dont les amplitudes sont plus fortes pour les fréquences spatiales basses (Reinvang, Magnussen, & Greenlee, 2002).

Le codage de l'information globale serait donc essentiellement sous-tendu par des fréquences spatiales basses, pour lesquelles des cellules de type M (voie visuelle magnocellulaire) sont spécialisées, les cellules de type P (voie parvocellulaire) prenant plus spécialement en charge les fréquences spatiales élevées. Or, les cellules de type M conduisent l'information d'une manière particulièrement rapide, ce qui pourrait rendre compte assez directement de la plus grande rapidité de réponse à une cible au niveau global plutôt que local.

Une autre caractéristique des canaux véhiculant les fréquences spatiales basses pourrait aussi contribuer à expliquer cet avantage pour le niveau global : il s'agit de phénomènes d'inhibitions entre canaux (Singer & Bedworth, 1973, cités par Lamb &

Yund, 1996). Cette interprétation ne nécessite plus d'évoquer un avantage temporel pour le traitement des basses fréquences spatiales. Cette hypothèse, suggérée dès 1984 par Hughes et ses collègues, propose que la plus grande rapidité du traitement global viendrait en partie d'une asymétrie des inhibitions produites entre les canaux spécialisés pour l'un ou l'autre type de fréquences spatiales. L'inhibition produite par les canaux spécialisés dans le traitement des basses fréquences spatiales sur les canaux spécialisés pour les hautes fréquences serait plus forte que l'inhibition inverse, ce qui expliquerait que le traitement du niveau global, reposant essentiellement sur les basses fréquences spatiales, aboutisse plus vite (Hughes, 1986). Lovegrove, Lehmkuhle, Baro et Garzia (1991) apportent un argument favorable à cette interprétation. Ils présentent des stimuli hiérarchisés sur un type de fond connu pour ralentir les réponses aux fréquences spatiales basses. Ils montrent que cette condition de présentation ralentit les réponses à l'information globale et, surtout, *accélère* les réponses à l'information locale : lorsque les canaux spécialisés pour les basses fréquences spatiales ne peuvent fonctionner correctement, les canaux spécialisés pour les hautes fréquences seraient donc désinhibés et traiteraient l'information particulièrement vite.

Afin d'argumenter l'hypothèse du rôle fondamental des fréquences spatiales dans la grande rapidité de traitement des cibles globales, les caractéristiques de la voie visuelle prenant en charge les fréquences spatiales basses peuvent être évoquées. Cette dernière se caractérise non seulement par sa rapidité de conduction, mais aussi par sa sensibilité à des différences de luminance en cas de faible contraste. L'interprétation de la supériorité du niveau global par la différence entre les fréquences spatiales sous-tendant l'un et l'autre niveaux trouve un premier argument dans la modulation de cette dominance du niveau global par la luminance du stimulus (Hughes, Layton, Baird, & Lester, 1984). Cette interprétation est également soutenue par la disparition de la plus grande rapidité de réponse aux cibles globales lorsque les fréquences spatiales basses sont supprimées par des filtres (Badcock, Whitworth, Badcock, & Lovegrove, 1990 ; Boeschoten, Kemner, Kenemans, & Engeland, 2005 ; LaGasse, 1993), ou par une manipulation des contrastes (Hughes, Fendrich, & Reuter-Lorenz, 1990 ; Lamb & Yund, 1993).

Un autre ensemble de recherches défend la même idée sans utiliser de stimuli hiérarchisés : il s'agit de mesurer les performances pour le traitement de cibles définies par leurs fréquences spatiales. Celles-ci donnent lieu à des configurations de résultats similaires à celles obtenues avec des cibles définies par leur niveau dans une structure hiérarchisée (Christman, Kitterle, & Hellige, 1991 ; Kitterle, Christman, & Hellige, 1990 ; Kitterle & Selig, 1991). Hughes (1986) obtient en effet, à partir de tels stimuli, à la fois une identification plus rapide de composantes constituées de basses fréquences spatiales et une interférence de ces dernières sur les réponses aux fréquences spatiales élevées sans que l'inverse soit vrai. A partir d'une analogie avec les phénomènes similaires obtenus en opposant les niveaux global et local, une relation de cause à effet a été envisagée. Shulman et Wilson (1987) ont traité un peu plus directement le lien entre hauteur des fréquences spatiales et niveau d'organisation, en montrant que la détection de cibles contenant de basses fréquences spatiales est favorisée si le sujet est simultanément engagé dans le traitement global de stimuli hiérarchisés, alors que la détection de cibles contenant de hautes fréquences spatiales est favorisée par le

traitement local.

Enfin, d'autres travaux soutiennent cette interprétation à partir d'une autre analogie. Il s'agit de rapprocher l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux global/local, d'une part, et l'asymétrie hémisphérique observée pour le traitement des fréquences spatiales basses/élevées, d'autre part (Christman, Kitterle, & Hellige, 1991 ; Kitterle, Christman, & Hellige, 1990 ; Kitterle & Selig, 1991). En effet, l'observation de patients atteints de lésions cérébrales latéralisées (Lamb, Robertson, & Knight, 1990 ; Robertson, Lamb, & Knight, 1988), ainsi que le recueil de performances de sujets sains dans des expériences avec présentation en champ visuel divisé (Van Kleeck, 1989) témoignent d'une plus grande compétence de structures de l'HD pour le traitement global et de l'HG pour le traitement local. Selon une version radicale de cette hypothèse, la spécialisation hémisphérique pour l'analyse des fréquences selon leur hauteur constitue la base de cette asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local. L'information visuelle étant plus rapide à traiter si elle repose sur de basses fréquences spatiales, la hauteur de ces fréquences suffirait à expliquer l'avantage du niveau global. Toutefois, nous verrons dans la partie 3.3.2.3. que le rapprochement entre les asymétries hémisphériques selon la hauteur des fréquences spatiales et selon le niveau dans la hiérarchie doit être considéré prudemment.

2.1.3.3. LIMITES DE L'EXPLICATION DE L'AVANTAGE DU NIVEAU GLOBAL À PARTIR DES FRÉQUENCES SPATIALES

L'avantage du niveau global est un terme général rapprochant deux phénomènes : le traitement plus rapide d'une cible au niveau global plutôt qu'au niveau local et l'asymétrie de l'interférence entre les niveaux. Si nombre de données confirment que la plus grande vitesse de traitement des cibles globales repose, au moins en partie, sur la composition de cette information en basses fréquences spatiales, ce n'est pas le cas du second phénomène.

Ainsi, par exemple, la suppression des basses fréquences spatiales retarde les réponses pour des cibles situées au niveau global de stimuli hiérarchisés, sans que l'interférence issue du niveau global soit affectée (Lamb & Yund, 1993). De même, entraver le fonctionnement soit des canaux spécialisés pour les hautes fréquences spatiales, soit ceux spécialisés pour les basses fréquences, produit des effets distincts sur les temps de réponse pour les cibles à l'un et l'autre niveaux, mais pas sur le profil des interférences entre niveaux (Lovegrove & Pepper, 1994, cités par Lamb & Yund, 1996a). Lamb et Yund (1993) ont conclu que la grande rapidité de traitement des cibles au niveau global vient d'un avantage temporel issu d'étapes élémentaires du traitement visuel, au moins en partie lié à la rapidité du traitement des basses fréquences spatiales. En revanche, l'interférence entre niveaux dépendrait moins de la hauteur des fréquences spatiales. Ces auteurs ont répliqué ces résultats dans des tâches d'attention focalisée à un niveau (Lamb & Yund, 1996), qui permettent d'étudier plus directement les effets d'interférence (celle-ci vient alors d'une véritable cible concurrente située au niveau devant être ignoré, et non d'une simple ressemblance avec les distracteurs situés à l'autre niveau). Leurs trois expériences montrent que, quelle que soit la tâche (attention divisée ou focalisée), l'une des composantes de l'avantage du niveau global (l'asymétrie de

l'interférence entre niveaux) n'est pas strictement basée sur les fréquences spatiales. De plus, ils montrent aussi que les phénomènes d'interférence sont eux-mêmes latéralisés (effet du champ visuel de présentation) et cette différence hémisphérique est elle aussi insensible à la suppression des basses fréquences spatiales. Ainsi, l'une au moins des manifestations de l'avantage du niveau global ne s'explique pas exclusivement par des mécanismes visuels de bas niveau.

2.1.4. Interprétation attentionnelle forte

Contrairement à ces explications situant l'origine de l'avantage du niveau global à des niveaux de traitement perceptifs élémentaires, d'autres interprétations proposent une origine plus tardive, reposant sur des traitements post-perceptifs, qualifiés d'attentionnels ou de décisionnels. Ces hypothèses retiennent elles aussi l'idée de traitements réalisés en parallèle pour l'information aux deux niveaux, mais elles considèrent qu'il n'y a pas de décalage temporel à l'issue de l'un et l'autre traitement : les informations locale et globale seraient disponibles simultanément.

Alors que l'interprétation perceptive propose de rendre compte à la fois de la plus grande rapidité de réponse à une cible au niveau global et de l'asymétrie de l'interférence en évoquant seulement des contraintes de bas niveau de nature perceptive, le propre des interprétations attentionnelles fortes est d'essayer d'expliquer ces deux composantes de l'avantage du global par des processus attentionnels tardifs et de haut niveau.

2.1.4.1. ARGUMENTS CONTRE LE DÉCALAGE TEMPOREL DE LA DISPONIBILITÉ DES INFORMATIONS GLOBALE ET LOCALE

Pour se démarquer des interprétations perceptives de la dominance du niveau global, ce courant d'interprétation écarte tout d'abord l'idée d'un décalage à l'issue des traitements perceptifs global et local. Boer et Keuss (1982) se sont ainsi appuyés sur une analyse précise des rapports entre vitesse et exactitude de réponse dans différentes conditions pour dire que l'avantage du niveau global n'apparaît qu'après l'étape de détection des traits. Ils concluent à la disponibilité simultanée des informations issues de l'un et l'autre niveaux et à une origine plus tardive et attentionnelle de l'avantage du niveau global.

Pour écarter l'idée de décalage temporel des informations issues de canaux spécialisés selon le niveau, Miller (1981) présente quant à lui un résultat surprenant. Dans une expérience où la lettre cible peut apparaître à l'un ou l'autre niveau de manière non prévisible (épreuve d'attention divisée), l'information locale influence les temps de réponses, même lorsque l'information au niveau global est suffisante pour fournir la réponse. Il observe en effet de meilleures performances lorsque la cible est située aux deux niveaux que lorsqu'elle est seulement présente au niveau global. Pour lui, cela témoigne du fait que l'information sur les lettres locales est disponible pour les mécanismes de réponse d'une manière non décalée par rapport à l'information globale. Sa seconde conclusion concerne les processus de décision. Il écarte l'idée selon laquelle les deux niveaux seraient traités par des processus de décision en compétition, entre lesquels celui qui détiendrait une information suffisante déterminerait à lui seul la réponse. Il imagine plutôt un processus de décision unique intégrant l'information issue des deux

niveaux. Dans ce cas, la cohérence entre les deux sources d'information ne pourrait qu'accélérer la réponse, ce qui permettrait d'expliquer pourquoi des informations cohérentes aux deux niveaux permettent des réponses plus rapides que la présence de la cible au seul niveau global. Selon lui, l'avantage du niveau global est un phénomène d'origine assez tardive et impliquerait le processus de décision.

La recherche de l'origine de l'avantage du niveau global dans des processus de haut niveau trouve aussi un argument original dans des données comparant l'avantage relatif des niveaux entre différents primates. Ces études s'appuient sur la grande similarité du système visuel des humains et des autres primates : il n'y aurait pas de différence majeure entre les primates pour ce qui est des voies visuelles primaires et secondaires (De Valois, & De Valois, cités par De Lillo, Spinozzi, Truppa, & Naylor, 2005 ; Deruelle & Fagot, 1997). Pourtant, alors qu'il est classique d'observer une plus grande rapidité et une meilleure exactitude de réponse au niveau global chez les humains, les singes (capucins, babouins) traitent plus vite et plus précisément les cibles locales (De Lillo, & al., 2005 ; Deruelle & Fagot, 1997). Ils sont aussi davantage perturbés que de jeunes enfants par l'augmentation de l'espacement entre les éléments locaux qui gêne le groupement et donc le traitement global (De Lillo, & al., 2005). Chez les capucins, cet avantage du niveau local demeure même si la taille des stimuli augmente et si la densité au niveau local est importante (Spinozzi, De Lillo, & Salvi, 2006). Les chimpanzés ont, quant à eux, un profil de réponse intermédiaire sans véritable avantage pour un niveau (Fagot & Tomonaga, 1999). Cela montre pour le moins que l'avantage du niveau global n'est pas universel dans le monde des primates et, étant donnée la similarité des systèmes visuels de bas niveaux, les différences observées entre espèces seraient vraisemblablement liées à des mécanismes visuels de haut niveau, plutôt qu'à des caractéristiques du système sensoriel périphérique.

2.1.4.2. HYPOTHÈSE DU PRIVILÈGE ATTENTIONNEL POUR LE NIVEAU GLOBAL

Si les informations issues de l'un et l'autre niveaux sont disponibles en même temps, comment rendre compte, dès lors, de l'avantage du niveau global ? L'intervention de mécanismes attentionnels est évoquée.

Selon Miller (1981), l'effet de supériorité du niveau global ne correspond pas à une précédenance du traitement global au niveau perceptif, mais à un privilège accordé à l'information globale par des processus attentionnels et/ou des processus de décision. Il propose plusieurs idées.

Il soutient notamment que l'avantage du niveau global traduit la possibilité pour le système attentionnel de sélectionner le niveau global et d'inhiber l'information locale, alors que l'inverse serait plus difficile. Il parvient ainsi à rendre compte du phénomène d'asymétrie de l'interférence entre les niveaux. Il ne développe cependant pas précisément cette idée en terme d'inhibition (il s'agit pourtant d'une idée intéressante, et qui sera en lien avec nos hypothèses). Il parle plutôt de deux canaux attentionnels prenant en charge de manière distincte les informations globale et locale, mais le canal global aurait de manière inhérente une plus grande *force*. L'auteur n'explique pas clairement l'origine de cette force (ou poids), qui serait une sorte de biais a priori. Il

signale seulement que cette idée concorde avec celles de la théorie de la Gestalt où les formes globales exerceraient un pouvoir d'attraction de l'attention particulièrement intense (nous avons déjà développé ce point dans la partie 1.2). Derrière cette explication, notons que le sujet est supposé pouvoir diviser son attention entre les canaux dans les épreuves où le niveau d'apparition de la cible est incertain. Ce pré-supposé est aujourd'hui discuté : même si les épreuves en question sont toujours appelées « *épreuves d'attention divisée* », il est généralement admis que le sujet ne divise pas son attention mais qu'elle commute (*switch*) entre niveaux lorsque la cible est située à des niveaux différents d'un item à l'autre.

Quant à l'autre composante de l'avantage du niveau global (la plus grande rapidité de réponse à une cible globale), Miller envisage deux explications. L'information issue des deux niveaux serait disponible en même temps, mais il serait plus simple de porter son attention ET de sélectionner une réponse pour fonder ses décisions sur l'information située au niveau global. Il existerait donc une attractivité particulière du système attentionnel et du système de sélection de réponse pour l'information venant du niveau global.

2.1.4.3. HYPOTHÈSE D'UNE TAILLE PRIVILÉGIÉE POUR LE FAISCEAU ATTENTIONNEL

Le mécanisme attentionnel de sélection spatiale qui serait responsable d'un traitement privilégié de l'information globale est parfois décrit comme un faisceau, analogue à celui produit par une lampe de poche (hypothèse du *spotlight*, Posner & Cohen, 1984) ou qui opèrerait comme un zoom à dimension variable (Eriksen & St James, 1986, cités par Lamb & Yund, 2000) : l'attention donnerait une priorité de traitement à la partie de l'espace mise ainsi en valeur. Selon la '*Regional Theory*', le traitement de la forme globale serait privilégié si la région sur laquelle s'étend l'attention est vaste, alors que le traitement des cibles locales serait quant à lui privilégié si cette aire est petite, l'information globale étant alors filtrée (Robertson, Egly, Lamb, & Kerth, 1993). Des travaux montrent qu'il est possible de pré-ajuster une *fenêtre attentionnelle* d'un grand diamètre et favoriser ainsi le traitement de l'information globale, ou de la pré-ajuster sur un petit diamètre et donner lieu à un avantage du niveau local. Cependant, selon l'hypothèse attentionnelle forte pour l'avantage du niveau global, si aucun indice n'a permis de pré-ajustement et si le stimulus hiérarchisé apparaît brusquement, le diamètre de cette région que l'attention privilégie serait, par défaut, automatiquement favorable à l'information globale (Stoffer, 1994).

2.1.5. Interprétation combinant les composantes sensorielles et attentionnelles

Trois idées semblent présider à une appréciation nouvelle du phénomène de supériorité du niveau global, en reconnaissant le rôle de composantes sensorielles et attentionnelles.

Premièrement, il est rapidement apparu que les deux effets considérés comme témoins de l'avantage du niveau global ne sont pas toujours corrélés et nous présenterons les données soutenant cette relative indépendance. Dès lors, il est possible d'envisager plusieurs composantes à l'origine de cet avantage : les unes sensorielles, les autres attentionnelles.

Deuxièmement, nous évoquerons certains travaux montrant que les traitements perceptifs et attentionnels ne sont pas forcément dissociés dans le temps car des influences précoces de l'attention sont possibles. Aussi, les processus perceptifs ne sont pas encapsulés par rapport aux traitements attentionnels, et il n'est pas très pertinent de défendre soit l'hypothèse perceptive, soit l'hypothèse attentionnelle.

Troisièmement, le paradigme de discrimination de cible dans des stimuli hiérarchisés où la cible apparaît à l'un ou l'autre niveau de manière non prévisible conserve l'appellation de '*tâche d'attention divisée entre les niveaux*', mais l'interprétation basée sur une division de l'attention a été abandonnée au profit d'une interprétation centrée sur la nécessité d'alterner les modes de traitement ('*switch*' entre les niveaux). Cela suppose de s'intéresser à la prédisposition de l'état attentionnel du sujet avant l'arrivée du stimulus, même dans les épreuves où l'attention n'est pas focalisée à partir de la consigne. Cela accroît l'intérêt des approches combinant des composantes sensorielles et attentionnelles des traitements global et local, même dans les tâches où il n'était pas, a priori, question de sélection attentionnelle. Nous verrons que les études sur le rôle de l'attention dans la nécessité de commutation entre niveaux contribuent à s'intéresser à l'articulation entre les aspects perceptifs et attentionnels des traitements global et local d'un objet.

Pour finir, nous évoquerons les études montrant la vulnérabilité de l'avantage du niveau global tant à des contraintes physiques altérant les traitements visuels de bas niveau, qu'à des contraintes modulant l'état attentionnel du sujet, car elles corroborent la double origine de cet avantage.

2.1.5.1. INDÉPENDANCE DES DEUX MANIFESTATIONS DE L'AVANTAGE DU GLOBAL

Plusieurs ensembles d'expériences ont montré que les deux phénomènes censés refléter l'avantage du global sont en réalité sous-tendus par des mécanismes distincts.

L'indépendance de ces deux phénomènes a par exemple été observée par Navon et Norman (1983), chez des sujets sains : le degré d'interférence entre niveaux peut varier, sans s'accompagner d'aucun changement quant à la plus grande rapidité de traitement au niveau global. Inversement, avec des stimuli pour lesquels la saillance perceptive est bien équilibrée entre les niveaux, Ridderinkhof et van der Molen (1995) montrent qu'en l'absence de différence de vitesse de réponse pour les cibles à l'un et l'autre niveau, des phénomènes d'interférence se produisent. L'interférence du niveau global sur le niveau local peut même se produire alors que les temps de réponse sont plus rapides au niveau local qu'au niveau global (Navon & Norman, 1983). De plus, un avantage temporel pour le traitement du niveau global peut aussi s'accompagner d'effets d'interférence symétriques (LaGasse, 1993).

Par ailleurs, ces deux phénomènes sont différemment sensibles à la manipulation d'un même facteur, que celui-ci concerne des aspects sensoriels ou attentionnels.

Ainsi, l'agrandissement de la taille du stimulus hiérarchisé peut faire apparaître un avantage du niveau local, sans que les effets d'interférence soient modifiés par cette manipulation d'une caractéristique physique (Lamb & Robertson, 1988). De même, la suppression des basses fréquences spatiales retarde les réponses pour des cibles situées au niveau global, sans que l'interférence issue du niveau global soit affectée

(Lamb & Yund, 1993 ; Lamb & Yund, 1996a). Comme nous l'avons déjà signalé dans la partie 2.1.3.3., ces expériences montrent aussi que les phénomènes d'interférence sont latéralisés, mais cette différence hémisphérique n'est pas sensible à la suppression des basses fréquences spatiales. Contrairement à la plus grande vitesse de réponse pour les cibles globales, les effets d'interférence semblent donc relativement indépendants de la hauteur des fréquences spatiales et ne sont pas réductibles à des effets de vision de bas niveau.

Pour ce qui est de la différence de sensibilité à un facteur attentionnel, Lamb et Yund, (1993) ont fait varier la probabilité d'apparition de la cible à l'un ou l'autre niveau. Ce facteur influence la vitesse de réponse, largement accélérée pour le niveau global en cas de biais vers ce niveau, et plus rapide au niveau local qu'au niveau global en présence d'un biais vers le local. Toutefois, l'influence de ce biais de réponse ne porte pas sur l'interférence entre niveaux. Encore une fois, la rapidité de traitement au niveau global et la forte interférence issue de ce niveau présentent une certaine indépendance.

L'effet de l'âge chez les adultes s'exerce lui aussi de façon différenciée sur les deux composantes de l'avantage du niveau global. La disparition de l'avantage temporel pour le traitement des cibles globales chez les personnes âgées n'a été décrit que chez des patients atteints d'une démence de type Alzheimer (Rosler, Mapstone, Hays-Wicklund, Gitelman, & Weintraub, 2005 ; Slavin, Mattingley, Bradshaw, & Storey, 2002), qui semblent souffrir d'une réduction de la zone d'attention focale (Delis & al., 1986). En dehors de cette pathologie, la plus grande rapidité de réponse au niveau global qu'au niveau local se maintient malgré l'avancée en âge (Bruyer, Scaillquin, & Samson, 2003). Toutefois, les personnes âgées se distinguent par une accentuation de l'interférence issue du niveau global, parfois interprétée comme une difficulté à exercer une inhibition sur l'information située à ce niveau (Roux & Ceccaldi, 2001).

Que peuvent alors refléter ces effets d'interférence ? Pour Blanca, Luna, Lopez-Montiel, Zalabardo et Rando (2002), l'avantage temporel pour la réponse à un niveau plutôt qu'un autre indiquerait le niveau qui détient la plus forte saillance perceptive, attirant et captivant de ce fait l'attention. Les effets d'interférence reflèteraient quant à eux la façon dont l'attention est distribuée entre les niveaux. Lamb et Yund (1996a) estiment que l'interférence repose sur un processus d'*intégration* perceptive de l'information issue des différents niveaux. Cette idée s'appuie notamment sur la disparition des effets positifs de redondance d'information entre les deux niveaux chez un patient avec une agnosie visuelle et dont les lésions bilatérales de l'aire pré-striée entravent la communication inter-hémisphérique nécessaire au 'binding' (*intégration*) des informations aux deux niveaux (Humphreys, Riddoch, & Quinlan, 1985 ; cités par Robertson et Lamb, 1991). Cette idée s'appuie aussi sur les données de Lamb, Robertson et Knight (1989) montrant l'absence d'effet d'interférence chez des patients atteints d'une lésion du gyrus temporal supérieur dans une expérience d'attention focalisée, alors que l'avantage temporel des réponses pour le niveau global est préservé. Les auteurs proposent l'explication suivante pour cette disparition des effets d'interférence (Robertson & Lamb, 1991). L'information globale serait disponible de façon normale chez ces patients, mais la lésion du gyrus temporal supérieur empêcherait de la combiner à celle des autres niveaux. En choisissant une tâche d'attention divisée entre les niveaux, les auteurs

pensent ne plus dépendre de ce phénomène d'attractivité automatique de l'attention par l'information globale (puisque l'attention devrait se distribuer de manière uniforme entre les niveaux) : ils pensent garantir ainsi le traitement des deux niveaux. Aussi, une absence d'interférence ne pourrait s'exprimer que par la détérioration du processus d'intégration. La confirmation de cette absence d'interférence chez les patients atteints d'une lésion du gyrus temporal supérieur va dans le sens de leur interprétation (Lamb, Robertson, & Knight, 1990). Chez les patients atteints d'une lésion du lobe pariétal inférieur, par contre, ces auteurs n'observent pas cette perturbation, mais une difficulté à distribuer l'attention de manière optimale entre les niveaux selon les demandes de la tâche (ils ne sont pas sensibles à la proportion de cibles situées à l'un des niveaux). Ces deux régions sous-tendraient donc des mécanismes attentionnels différents. Pour finir avec les lésions du gyrus temporal inférieur même lorsque le stimulus est présenté dans le champ ipsilatéral à la lésion, les interférences sont absentes. Bien que la latéralisation de la lésion de cette zone entrave sélectivement l'identification des cibles à l'un ou l'autre niveau, l'effet délétère sur les interactions entre niveaux se produit quel que soit le côté atteint, ce qui suggère que ces interactions entre niveaux nécessitent une coopération inter-hémisphérique.

L'implication de mécanismes attentionnels dans les phénomènes d'interférence est encore suggérée par les travaux de Hibi, Takeda et Yagi (2002). L'interférence venant du niveau global est connue pour se manifester même lorsque les temps de présentation sont assez brefs, alors que l'interférence issue du niveau local nécessite plus de temps. L'interprétation classique dit que cela reflète la plus grande rapidité de traitement des fréquences spatiales basses. Ces auteurs ont toutefois montré que le fait que la durée de présentation varie entre les blocs de l'expérience ou à l'intérieur des blocs détermine l'intervention d'interférences venant du niveau local. Les phénomènes d'interférences ne dépendraient donc pas strictement des fréquences spatiales, mais aussi de l'état attentionnel du sujet et de ses stratégies.

Enfin, selon un modèle récemment développé par Hübner et Volberg (2005), le traitement visuel du stimulus hiérarchisé consisterait d'abord à identifier les objets, à tous les niveaux de hiérarchie, l'intégration entre ces identités et leur niveau respectif ne se faisant qu'ensuite, par un processus d'intégration attentionnel assez tardif. C'est ce dernier processus qui permettrait de résoudre les conflits entre cibles concurrentes à l'un et l'autre niveaux, et donc les problèmes liés à l'interférence. Les effets d'interférences sont donc, là encore, conçus comme liés à des mécanismes attentionnels.

2.1.5.2. PLACE DE LA FOCALISATION ATTENTIONNELLE DANS LES PARADIGMES D'ATTENTION DIVISÉE

Dans les expériences dites d'attention divisée, il est possible que le traitement de la cible ne soit pas totalement indépendant d'une certaine forme de préparation attentionnelle. Certes, il n'est pas question d'un mécanisme de contrôle attentionnel délibéré, comme dans les épreuves d'attention focalisée où le participant sélectionne volontairement un niveau pour répondre aux demandes de la consigne. Il s'agit d'une forme d'engagement attentionnel d'origine plus exogène et liée au niveau de traitement qui vient d'être pris en charge dans l'item précédent. Dans les épreuves d'attention divisée, l'attention passe

fréquemment d'un niveau à l'autre, mais plusieurs stimuli de suite contiennent parfois la cible au même niveau. Des travaux portent spécifiquement sur le bénéfice alors observé pour le traitement de la cible : le *level-readiness effect*. Nous verrons dans la partie 2.4. que l'on peut s'interroger sur ce qui est véritablement maintenu d'un item à l'autre (un privilège pour les canaux prenant en charge des fréquences spatiales de même hauteur ? un engagement attentionnel dans un mode de traitement impliquant des composantes de plus haut niveau et défini par la position hiérarchique des cibles dans les objets ?). Toujours est-il que le changement du niveau auquel se situe la cible d'un item à l'autre entraîne un coût et que celui-ci pourrait s'expliquer par la nécessité de réaliser une opération attentionnelle (le *switch* entre niveaux) permettant d'échapper à une forme de focalisation préalable. La question de l'engagement attentionnel est donc tout aussi centrale dans les épreuves dites d'attention divisée que dans les tâches d'attention focalisée.

2.1.5.3. MODULATION ATTENTIONNELLE DE TRAITEMENTS PERCEPTIFS VISUELS DE BAS NIVEAU

La perspective consistant à envisager les composantes à la fois sensorielles et attentionnelles des traitements global et local présente aussi une cohérence avec les données sur les supports neuro-anatomiques de ces traitements.

De nombreuses études neuropsychologiques publiées à la fin des années 80' et au début des années 90', notamment par Robertson et ses collègues, ont tout d'abord mis en avant la place centrale de la région temporo-pariétale dans le traitement différencié des deux niveaux. Des lésions temporo-pariétales droites se traduisent en effet par un déficit sélectif du traitement des informations au niveau global, alors que des lésions dans des régions homologues de l'autre hémisphère perturbent plutôt le traitement des informations locales (Robertson et al., 1988 ; Robertson & Lamb, 1991). La question est alors de savoir si ces régions sous-tendent des systèmes perceptifs « passifs » ou des processus attentionnels. Pour le tester, Robertson et ses collègues (1988) ont comparé des patients atteints de lésions gauches, les uns dans le gyrus temporal supérieur, les autres dans la partie rostrale du lobe pariétal inférieur. La variation de la proportion de cibles situées à un certain niveau dans l'épreuve s'accompagne normalement d'une amélioration des performances pour ce niveau. Seuls les patients atteints de lésions pariétales inférieures ne présentent pas cet effet, ce qui témoignerait d'un déficit de leur capacité à répartir l'attention de manière optimale en fonction de la situation. En revanche, les lésions temporales supérieures ne s'accompagnent pas de ce déficit attentionnel, mais plutôt d'un déficit de traitement de l'information globale (lésions droites) ou locale (lésions gauches).

Dans l'ensemble, ces données ont abouti à décrire plusieurs mécanismes dans les traitements global et local : la région temporale supérieure aurait des dispositions à traiter et/ou à porter attention sur un niveau de façon spécifique selon l'hémisphère, alors que la région pariétale inférieure sous-tendrait la distribution des ressources attentionnelles, en se fondant par exemple sur des caractéristiques de la liste. Une analyse plus précise des données a permis de découvrir que les patients atteints de lésions pariétales inférieures sont surtout insensibles au fait que le niveau à traiter soit le même que dans l'item précédent : il ne tirent pas de bénéfice de cet effet de contexte. Le lobe pariétal inférieur

serait donc surtout impliqué dans le maintien des ressources pour le mode de traitement dans lequel l'attention vient de s'investir (Rafal & Robertson, 1995), ce qui est encore une fois un mécanisme actif attentionnel. Plus récemment, Weissman et Woldroff (2005) ont pu dissocier, grâce à l'IRMf, des zones distinctes dans la région temporo-pariétale postérieure et constituant des supports neuronaux dissociés pour des mécanismes de préparation attentionnelle, d'une part, et d'identification d'information selon leur niveau, d'autre part. Ces auteurs montrent en effet que dans le sillon intra-pariétal les activations présentent une asymétrie hémisphérique en fonction du niveau vers lequel se porte la préparation attentionnelle, alors que l'asymétrie hémisphérique pour l'identification des éléments à l'un et l'autre niveaux se manifeste ensuite (après la présentation des stimuli) à la jonction du gyrus temporal supérieur et du lobe pariétal inférieur.

L'imagerie cérébrale a également permis de préciser que la modulation attentionnelle selon le niveau a une incidence aussi sur les aspects précoces des traitements visuels, car elle se traduit par des modifications de l'activation cérébrale dans des régions sous-tendant des traitements élémentaires du système visuel. Avec la technique des potentiels évoqués, des travaux montrent par exemple que la focalisation attentionnelle au niveau global ou local a des corrélats électrophysiologiques différenciés au niveau du cortex visuel extra-strié (Evans, Shedden, Hevenor, & Hahn, 2000). C'est aussi la conclusion à laquelle aboutissent Fink et ses collègues, en combinant les observations issues de deux expériences en TEP (Tomographie par Emission de Positons), l'une avec attention focalisée sur un niveau et l'autre avec le paradigme d'attention divisée (Fink, Halligan, Marshall, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1996). Dans la tâche d'attention focalisée, ils ont tout d'abord relevé une activation dans les aires visuelles extra-striées, différenciée selon le niveau sélectionné : une activation du gyrus lingual droit pour la focalisation au niveau global et dans le cortex occipital inférieur gauche lors d'une focalisation au niveau local, cette dernière augmentation d'activation spécifiquement liée à la focalisation au niveau local étant confirmée en IRMf par Martinez, Moses, Frank, Buxton, Wong et Stiles (1997). La précocité de ces activations différenciées selon le niveau sélectionné est confirmée par des travaux en potentiels évoqués montrant qu'elles se manifestent dans le cortex visuel, à partir de 80 ms après l'apparition des stimuli (Jiang & Han, 2005).

Concernant l'origine de cette modulation, ces auteurs évoquent leurs résultats dans une tâche d'attention divisée. Ils notent que le nombre de stimuli traités successivement au même niveau est corrélé aux activations bilatérales de la région temporo-pariétale (Fink et al., 1997a), et aux activations de trois régions latéralisées à droites (cortex orbito-frontal, cortex préfrontal dorsolatéral et gyrus temporal médian). Cet ensemble constitue un système d'attention sélective fronto-pariétal (Corbetta, Miezin, Dobmeyer, Shulman, & Petersen, 2000) connu pour moduler l'activité corticale correspondant aux traitements sensoriels afin de favoriser les cibles au détriment des distracteurs (Desimone, 1998). Fink et ses collègues (1997a) concluent que le maintien de l'attention soutenue à un certain niveau, mesuré dans cette expérience à partir de la répétition de traitement à un même niveau, recrute un réseau impliquant les régions temporo-pariétales et préfrontales dorsolatérales. Cela est cohérent avec les données neuropsychologiques montrant l'implication de la région pariétale dans le contrôle de la distribution des ressources entre niveaux (Robertson et al., 1988 ; Robertson & Lamb, 1991). Cela

concorde aussi avec les activation temporo-pariétales droites et temporales postérieures gauches lors du traitement d'un indice imposant de sélectionner le niveau global ou local, respectivement, pour traiter le stimulus suivant (Yamaguchi, Yamagata, & Kobayashi, 2000).

En combinant cette observation avec les résultats de l'expérience en attention focalisée, Fink et al. (1997a) estiment avoir démontré que les réponses neurosensorielles au niveau des aires visuelles extra-striées sont influencées par la focalisation attentionnelle au niveau global ou local, et que cette modulation est contrôlée par un système attentionnel impliquant des aires temporo-pariétales. Il peut paraître surprenant qu'ils n'aient pas aussi observé une activation temporo-pariétale dans la tâche d'attention focalisée, mais il semble que l'intervention du contrôle attentionnel en question soit plus facile à observer en présence de conflit ou de distracteurs (Weissman, Mangun, & Woldorff, 2002), ce qui est moins le cas dans leur expérience en attention focalisée qu'en attention divisée. Fink et ses collègues (1997a) proposent en tout cas une description intéressante de la séparation entre des aires cérébrales chargées du traitement du signal et les systèmes attentionnels, tout en contribuant à préciser l'articulation entre ces aspects.

Enfin, le lobe pariétal gauche a été associé à d'autres mécanismes attentionnels, intervenant dans certaines situations de traitement global et local. Fink et ses collègues (1997a) ont tout d'abord observé que l'activation de la région médiane de cette aire, de même que dans l'aire motrice supplémentaire gauche, co-varie avec l'augmentation du nombre de changements pour le niveau d'apparition des cibles à l'intérieur de l'expérience. La nécessité de commuter fréquemment le mode de traitement des stimuli hiérarchisés recruterait fortement un système attentionnel latéralisé à gauche en région frontale et responsable des fonctions exécutives. L'implication de la région médiane de l'aire pariétale gauche ne paraît pas surprenante non plus étant données ses connexions anatomiques avec l'aire motrice supplémentaire (Murray & Coulter, 1981). De plus, Fink et al. (1997a) font un rapprochement entre les activations de cette aire et une région voisine (le cortex pariétal supérieur) qui s'active dans des tâches impliquant un déplacement de l'attention (Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995). Même si le *switch* entre niveaux n'est pas directement assimilable au déplacement spatial de l'attention, les auteurs imaginent une certaine communauté entre les deux fonctions. Enfin, le lobe pariétal gauche semble sous-tendre encore un autre mécanisme attentionnel important pour les traitement global et local des stimuli visuels complexes : une détérioration de cette région cérébrale s'accompagnerait d'une difficulté à ignorer une information visuellement saillante située à un niveau de traitement qui ne doit pas être sélectionné (Mevorach, Humphreys, & Shalev, 2006). Ainsi, les travaux actuels en neurosciences cognitives mettent-ils l'accent sur les composantes sensorielles et une variété de composantes attentionnelles pouvant participer, selon les contraintes de la situation, aux traitements global et local de l'information visuelle complexe.

2.1.5.4. EXEMPLES DE THÉORIES COMBINANT LES COMPOSANTES PERCEPTIVES ET ATTENTIONNELLES DES TRAITEMENTS GLOBAL/LOCAL

Certains chercheurs ont tenté de dépasser le débat concernant la nature perceptive

versus attentionnelle de la différence entre le traitement des niveaux global et local. Nous choisissons d'illustrer cette tendance par des exemples de théories particulièrement marquantes.

Sans revenir en détails sur les observations neuropsychologiques de Robertson et de ses collègues, leur travail aboutit à la description d'un premier modèle articulant des mécanismes sensoriels et attentionnels pour les traitements global et local (Robertson & Lamb, 1991), dont la contribution peut être spécifiquement détériorée par des lésions cérébrales distinctes. Ils ont mis au point une épreuve de discrimination de cible pouvant apparaître à l'un ou l'autre niveau de manière non prédictible et ont équilibré la saillance entre les niveaux : les performances des sujets contrôles ne présentaient donc pas d'avantage temporel de la réponse au niveau global. Cette précaution a permis de faire ressortir d'une part une détérioration des performances pour les cibles locales en cas de lésions du gyrus temporal supérieur gauche et, d'autre part, un avantage pour le niveau local en cas de lésion temporo-pariétal droite. Par contre, nous avons vu que ces lésions n'apparaissent pas fondamentales pour distribuer de manière optimum l'attention entre les niveaux, en fonction des contraintes du contexte. En revanche, des patients atteints de lésions de la partie latérale du lobe pariétal sont, comme les sujets contrôles, aussi rapides pour le traitement de l'un et l'autre niveau, mais sont insensibles à la proportion de cibles à chaque niveau. Les parties latérales du lobe pariétal pourraient donc jouer un rôle spécifique dans le contrôle de la distribution de l'attention entre les niveaux. Les niveaux global et local feraient donc l'objet de traitements perceptifs initialement indépendants et impliquant des régions corticales latéralisées, mais un processus de contrôle attentionnel, selon eux non latéralisé, pourrait modifier la distribution des ressources entre les canaux plus ou moins impliqués dans chaque traitement. Par ailleurs, Robertson et Lamb (1991) isolent encore un autre mécanisme, qu'ils relient à l'intégrité du gyrus temporal supérieur (dans l'un et l'autre hémisphère) : une opération de coordination entre les propriétés globales et locales qui, nous l'avons vu dans la partie 2.1.5.1., garantit les effets d'interaction (effet négatif de l'interférence et effet positif de la redondance). Cette opération pourrait être rapprochée de celle que Hübner décrit comme une intégration des informations sur l'identité des informations et leur niveau respectif.

Plus récemment, Hübner et Volberg (2005) présentent une théorie originale sur les opérations impliquées dans le traitement de stimuli hiérarchisés. Elle prendra aussi un sens particulier par rapport à la question des différences hémisphériques parfois observées pour le traitement des niveaux et sera pour cela à nouveau évoquée dans la partie 3. de ce chapitre. Selon ces auteurs, lors des processus visuels précoces, l'information serait traitée en parallèle à chaque niveau, à des rythmes différents et vulnérables à de nombreux facteurs physiques. A ce stade, l'identité des éléments à l'un et l'autre niveaux serait représentée indépendamment des niveaux auxquels ils sont attachés. La représentation de l'association correcte entre l'identité des éléments et leur niveau serait le fruit d'un processus d'intégration tardif (*'binding'*) et attentionnel. Pour ce processus, l'hémisphère droit (HD) serait plus performant pour relier le niveau global et l'identité de la grande forme, alors que l'hémisphère gauche (HG) serait plus efficace pour relier le niveau local à l'identité des petits éléments (Volberg & Hübner, 2006). Selon Hübner et Volberg (2005), l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des deux niveaux

ne viendrait pas d'étapes de traitement sensoriel précoce, mais seulement de cette asymétrie hémisphérique pour l'intégration tardive. Ils défendent leur hypothèse à partir de résultats d'expériences d'identification de lettres à un niveau spécifié à l'avance et dans lesquelles les temps de présentation varient (Hübner & Volberg, 2005). Les erreurs consistant à évoquer l'identité d'une lettre située au niveau qui doit être inhibé s'avèrent plus nombreuses lorsque la durée de présentation est trop brève pour permettre l'exécution correcte de cette intégration. Ils montrent aussi que l'asymétrie hémisphérique se manifeste surtout dans les épreuves d'attention focalisée et dans les épreuves d'attention divisée manipulant des lettres visuellement proches, c'est-à-dire seulement dans des situations rendant indispensable l'intégration identité des lettres / niveau (Hübner, Volberg, & Studer, in press). En bref, ces auteurs ne disent pas que l'intervention de l'attention se limite à cette opération d'intégration, mais ils établissent tout de même dans leur modèle du traitement des stimuli hiérarchisés une distinction claire entre les composantes sensorielles du traitement de l'information à chaque niveau et une composante attentionnelle d'intégration plus tardive.

Enfin, les idées développées par Miller au début des années 80' ont évolué et aboutissent elles aussi à une conception combinant des aspects sensoriels et des aspects de plus haut niveau (relevant de processus attentionnels et/ou décisionnels). Après avoir proposé une explication de l'avantage du global strictement basée sur des aspects attentionnels (Miller, 1981), dans un article co-signé avec Navon ce chercheur propose ensuite l'hypothèse selon laquelle l'avantage du global reposerait au moins en partie sur une activation préférentielle des réponses à partir d'une information globale plutôt que locale (Miller & Navon, 2002). Ces auteurs ont testé cette hypothèse en observant une mesure électrophysiologique de la préparation à une réponse manuelle spécifique à une main, activité cérébrale enregistrée au niveau des cortex moteurs gauche et droit. Ils ont conclu que l'avantage du niveau global a une origine très précoce et perceptive, mais que cet avantage est amplifié par des processus reliés à la réponse. En cela, leur proposition est un exemple d'explication des différences entre traitements global et local par la combinaison de composantes sensorielles et de plus haut niveau.

2.2. Arguments pour les composantes sensorielles de l'avantage du global : sensibilité aux caractéristiques physiques des stimuli

Certaines caractéristiques physiques des stimuli affectent la discriminabilité relative des formes à l'un et l'autre niveaux, au point de faire disparaître et parfois inverser l'avantage du niveau global par rapport au niveau local. La vulnérabilité de l'avantage du global à des variations de cette nature souligne ses composantes sensorielles, tout comme nous verrons que sa modulation par des facteurs de haut niveau témoigne de ses composantes attentionnelles.

La taille de l'ensemble du stimulus hiérarchisé est rapidement apparue comme déterminante pour l'émergence de l'avantage du niveau global. En la faisant varier de 4.8° à 22.1°, Kinchla et Wolfe (1979) n'ont observé des réponses plus rapides pour le niveau global que pour des stimuli couvrant moins de 7°. De même, Lamb et Robertson (1989) ont montré que l'augmentation de la taille de l'ensemble du stimulus hiérarchisé peut

s'accompagner de l'apparition d'un avantage temporel pour les réponses au niveau local. Ils sont partis de stimuli couvrant 3° d'angle visuel et dans lesquels la difficulté entre les niveaux était équilibrée, puisque la vitesse de discrimination des cibles ne différait pas entre niveaux global et local dans une tâche d'attention divisée. En augmentant la taille de l'ensemble (6°, 9°, ou 12°), ils ont observé des réponses plus rapides au niveau local. L'effet de cette modification physique doit toutefois être relativisé, car il ne porte que sur cette composante de l'avantage du niveau global, l'interférence issue de la forme globale étant quant à elle toujours plus forte que celle venant du niveau local.

Le mécanisme par lequel l'augmentation de la taille du stimulus hiérarchisé module l'avantage du niveau global pourrait être en partie lié à l'excentricité par rapport à la fovéa. Blanca et Luna (2002) font en effet remarquer que les stimuli utilisés par Lamb et Robertson (1989) ont une particularité qui peut expliquer pourquoi le traitement local est avantagé dans leur expérience. Les lettres utilisées (H, S, A et E) ont une forme telle que l'une des lettres locales apparaît très près de la fovéa (par exemple au milieu de la barre du H), ce qui la rend particulièrement visible, au détriment de la forme globale qui s'éloigne de la fovéa avec l'augmentation de taille. Des expériences ont montré que cette caractéristique physique, liée à l'excentricité, peut moduler à elle seule l'avantage du niveau global. En utilisant par exemple des stimuli de 5°, mais dont la forme n'impose pas d'élément local sur la fovéa (cercles, triangles ou carrés), Luna, Merinos et Marcos-Ruiz (1990) ont observé non seulement une plus grande interférence venant du niveau global, mais aussi des temps de réponse plus rapides pour le niveau global, contrairement à Lamb et Robertson (1989) avec des stimuli de taille similaire. Cette équipe montre aussi que l'augmentation de la taille du stimulus s'accompagne d'un passage de l'avantage du global à un avantage du local seulement si le stimulus hiérarchisé contient un élément local central qui s'adresse à la fovéa (Luna, Marcos-Ruiz, & Merino, 1995). En utilisant des stimuli concentriques, qui évitent ce biais, d'autres chercheurs ont observé la persistance de l'avantage du niveau global même pour des stimuli de 17.25° (Navon & Norman, 1983). Les travaux de Amirkhiabani et Lovegrove (1999) soulignent encore l'importance de ce facteur, en montrant que l'interférence venant du niveau global est plus vulnérable à la variation d'excentricité qu'à la variation de taille.

Pour des raisons liées aussi à l'excentricité, la présentation des stimuli hiérarchisés en champ visuel périphérique plutôt qu'en vision centrale accentue l'effet de supériorité du niveau global, vraisemblablement parce que les éléments locaux sont alors trop éloignés de la fovéa pour être bien visibles (Grice, Canham, & Boroughs, 1983, cités par Han & Humphreys, 2002).

Martin (1979) s'est quant à elle intéressée à l'influence de la densité des stimuli au niveau local. Elle utilise des lettres hiérarchisées dont le degré d'angle visuel des éléments est maintenu constant, au niveau global comme au niveau local : seul le nombre d'éléments au niveau local varie. Elle observe un avantage du niveau global dans la condition où les éléments locaux sont peu espacés, mais un avantage du niveau local si ces espacements augmentent. En augmentant pareillement l'espace entre les éléments locaux, LaGasse (1993) a confirmé la disparition de l'avantage du niveau global. Dans le domaine de la pathologie, des patients simultanés (qui ne peuvent percevoir plusieurs objets en même temps) ont des difficultés à percevoir la forme globale d'un

stimulus hiérarchisé, mais là aussi le rapprochement des petits éléments (0.64° d'angle visuel comparé à 2.55°) peut tout de même les aider à traiter cette information globale malgré la discontinuité (relative) des composantes (Huberle & Karnath, 2006). Notons tout de même que Kimchi (1988) a tenté de produire les effets de densité avec des figures géométriques hiérarchisées dont il fallait juger la compatibilité, mais elle a montré que l'effet de l'augmentation de densité sur l'avantage du niveau global diffère selon la réponse à donner ('compatible' *versus* 'non compatible'), ce qui suggère que l'effet de la densité est complexe et pas totalement indépendant des demandes de la tâche.

Il est aussi possible que l'effet de la densité agisse indirectement sur l'avantage du niveau global en altérant la 'bonne forme' de l'ensemble. S'il est vrai que des éléments ne doivent pas nécessairement être connectés pour être groupés spontanément en configuration, la diminution de la densité peut tout de même nuire à la perception de la forme d'ensemble (Enns & Kingstone, 1995 ; Han & Humphreys, 1999). Une altération de la 'bonne forme' a d'ailleurs été directement manipulée dans certaines expériences où elle a modulé l'avantage du niveau global. Hoffman (1980, Expérience 2) a détérioré l'information visuelle en déformant les lettres, au niveau global ou au niveau local, par le déplacement de l'un des petits éléments (ou d'un trait des petits éléments). Les lettres sont alors identifiables, mais ne sont pas très typiques. Opérée au niveau global, cette détérioration de la forme donne lieu à un avantage du niveau local, alors qu'un avantage marqué du niveau global accompagne la détérioration de l'information sur les petites lettres. Sebrechts et Fagala (1985, cités par Kimchi, 1992) ont répliqué les résultats de Hoffman (1980) en jouant eux aussi sur la qualité des stimuli cibles. Même si la nature exacte du facteur manipulé dans ces expériences est parfois difficile à définir (typicalité de la représentation proposée, détérioration de la 'bonne forme' ?), ces résultats montrent pour le moins que l'avantage du niveau global n'est pas une fatalité.

Nous avons vu, dans la partie 1.3. de ce chapitre, que l'avantage du niveau global peut être mis en évidence indépendamment des seules propriétés configurales des relations spatiales (Kimchi, 1994). Toutefois, nous avons également vu que, dans la plupart des cas, la perception d'une forme globale s'appuie quand même sur la qualité de certaines relations spatiales. En ce sens, les propriétés configurales (fermeture, proximité, similarité de luminosité, de couleur, de forme...) contribuent souvent à l'avantage du niveau global. C'est pourquoi la manipulation de certaines propriétés physiques des stimuli peut moduler cet avantage du niveau global indirectement, en réduisant en fait la disponibilité des propriétés configurales susceptibles de guider le groupement spontané des éléments en une grande forme. Par exemple, Han et Humphreys (1999) ont présenté des stimuli hiérarchisés sur un fond blanc ou constitué de croix dont le contraste augmente progressivement jusqu'à devenir aussi important que celui des petits éléments locaux de la figure hiérarchisée. Alors que le groupement des éléments de la forme globale est possible à partir de la similarité de luminosité, de la proximité et de la similarité de forme si le fond est blanc, le sujet ne peut plus s'appuyer que sur la similarité de forme lorsque le contraste des petites croix du fond augmente. Les deux composantes de l'avantage du niveau global sont observées lorsque le fond est blanc, les réponses étant plus rapides au niveau global et l'interférence issue de ce niveau étant la plus perturbante, mais elles disparaissent toutes deux au profit d'un avantage temporel pour

les réponses au niveau local et d'une interférence plus forte à partir de l'information locale si le fond ne permet plus d'utiliser que la similarité de forme pour effectuer le groupement d'objets. Rappelons que la similarité de forme est un critère de groupement qui opère moins rapidement que la proximité (Han, Humphreys, & Chen, 1999b). Ces données montrent que la facilité du traitement de la forme global repose en partie sur des opérations de groupement.

De plus, entraver la réalisation de ce groupement ne se traduit pas par les mêmes effets que ceux produits par un autre type de détérioration physique des stimuli : la suppression des fréquences spatiales basses. Un tel filtrage produit des modifications des caractéristiques physiques d'une autre nature. Comme nous l'avons vu, la suppression des fréquences spatiales basses ralentit le traitement du niveau global sans modifier l'interférence issue du niveau global (Lamb & Yund, 1993, 1996). Par contre, Han et Humphreys (1999) montrent que lorsque la qualité du fond empêche le groupement des éléments, non seulement l'avantage temporel pour le niveau global se transforme en un avantage temporel pour le niveau local, mais l'asymétrie de l'interférence s'inverse aussi (celle provenant du niveau local devient plus forte). La manipulation de ces différentes caractéristiques physiques des stimuli montre donc que la perception de la forme au niveau global n'est pas seulement déterminée par le traitement des basses fréquences spatiales, mais aussi par des opérations de groupement : ces dernières sont liées à la qualité des relations spatiales (caractéristiques configurales) et non aux caractéristiques des fréquences spatiales.

Enfin, la densité des petits éléments peut favoriser l'avantage du niveau global non seulement en facilitant leur groupement en configuration, mais aussi en gênant l'extraction des éléments individuels à cause d'un masquage latéral. Modigliani, Bernstein et Govorkov (2001) ont testé si l'avantage du niveau global est assez robuste pour persister malgré l'abolition des facteurs qui gênent habituellement l'extraction des petits éléments : dans leurs stimuli, il n'est pas question de proximité trop grande entre petits éléments, ni d'interactions entre leurs traits et le contour de la figure globale. Pour cela, ils ont présenté une petite lettre en un point de la surface sur laquelle s'inscrit la grande lettre (e.g., un petit « S » sous la barre horizontale du grand « H »), sans que cette petite lettre soit un élément constitutif de la forme globale. La distance entre la petite lettre et les segments de la grande lettre est suffisamment grande pour réduire les effets de masquage latéral. Dans les quatre expériences, des tâches d'attention focalisée (au niveau global ou au niveau local) sont utilisées. Par rapport à une condition où le petit élément est présenté seul, la présence d'une grande lettre détériore la performance pour la petite, alors que l'inverse n'est pas vrai. Cette interférence issue du niveau global témoigne de l'avantage de ce niveau, et comme ces expériences évitent les phénomènes d'interactions de contours et de densité des éléments locaux, cet avantage paraît robuste. Les auteurs en déduisent que la différence de taille entre les éléments aux deux niveaux serait un des principaux facteurs responsables. Toutefois, ils montrent aussi que le contenu de l'élément global module l'importance de l'interférence. Dans l'Expérience 3, il ne s'agit pas d'une lettre mais d'une forme indéterminée ('blob'), qui ne produit qu'une faible interférence sur le traitement de la petite cible. C'est pourquoi, ici encore, l'avantage du niveau global ne semble pas exclusivement déterminé par des mécanismes sensoriels,

mais aussi par des composantes cognitives de plus haut niveau.

2.3. Arguments pour les composantes attentionnelles et les influences de haut niveau dans l'avantage du global

2.3.1. Effet de la nature de la tâche

L'un des moyens les plus directs de moduler les aspects attentionnels du traitement des stimuli hiérarchisés consiste à faire varier les demandes de la tâche. Rappelons que dans les tâches dites d'attention divisée, la cible peut apparaître en tant que forme globale ou en tant que détail sans que le niveau soit prédictible. L'attention est alors supposée se diviser entre les niveaux, ou passer rapidement de l'un à l'autre. En revanche, dans les tâches d'attention focalisée, l'attention est délibérément concentrée sur un niveau selon la consigne et ce niveau change entre les blocs de l'expérience. L'un des niveaux est ainsi sélectionné, et ceci pendant toute l'épreuve.

Les expériences de Paquet et ses collègues (1987 ; Paquet & Merickle, 1988) montrent que lorsque l'attention est dirigée sur un certain niveau d'un objet cible, cela détermine quel niveau d'information est en même temps le plus difficile à ignorer dans un autre stimulus concurrent présenté à côté. L'induction d'un état attentif particulier pour sélectionner un mode d'analyse est donc un phénomène puissant, qui peut déterminer non seulement le mode de traitement d'un stimulus cible, mais aussi celui de son environnement. L'efficacité de la consigne de sélection d'un niveau est également évidente dans les travaux de Han et de ses collègues : Han, Humphreys et Chen (1999a) ont fait apparaître l'une des petites figures locales en rouge pour augmenter sa saillance dans le stimulus hiérarchisé. Lorsque la cible peut apparaître à l'un ou l'autre niveau, une accélération des réponses au niveau local est alors observée, ainsi qu'un ralentissement des réponses au niveau global et une réduction de l'interférence du niveau global sur le niveau local. L'effet de *pop-out* local est donc très fort : s'il est très saillant, un élément local attire et retient l'attention au point de renverser l'avantage d'un niveau sur l'autre. Toutefois, Han et al. (1999a) ont montré que, malgré leur intensité, ces effets ne sont plus observés si la tâche requiert de se concentrer au niveau global (attention focalisée) : la présence de la petite figure rouge a alors très peu d'effet. Cela montre l'efficacité d'un contrôle attentionnel *top-down* (i.e., focalisation de l'attention à un seul niveau), capable de faire barrage à l'effet de *pop-out* local : l'effet de la saillance visuelle d'une figure locale serait donc modulable par un contrôle attentionnel.

Dans les deux paradigmes, l'avantage temporel pour le traitement du niveau global peut être étudié, de façon très directe dans les tâches d'attention divisée en évaluant l'impact du facteur niveau dans l'ensemble de l'épreuve, et en comparant les performances entre les blocs dans les tâches d'attention focalisée. Quant à l'effet d'interférence, autre composante de l'avantage du niveau global, il est mesuré directement dans l'épreuve d'attention focalisée en comparant les performances entre les conditions contrôle (une seule des deux cibles est présente dans le stimulus) et piège (la cible concurrente est présente au niveau devant être ignoré). Cet effet est par contre mesuré de manière plus indirecte dans les épreuves d'attention divisée : une seule des

cibles à discriminer est présente dans le stimulus à un certain niveau, mais le distracteur situé à l'autre niveau est visuellement similaire ou non à cette cible ou à la cible concurrente (e.g., Lamb & Robertson, 1989). Dans certains cas, la même cible est présente aux deux niveaux et l'influence positive de la redondance est évaluée.

D'une manière générale, l'avantage du niveau global est un phénomène plus fréquemment observé à partir d'épreuves avec attention focalisée. La façon plus directe dont l'effet d'interférence est mesuré dans ce paradigme explique en partie pourquoi l'avantage du niveau global est plus couramment relevée dans de telles expériences. Cet argument ne peut cependant être évoqué pour l'autre composante de l'avantage du niveau global (l'avantage temporel des réponses données au niveau global), car cette composante est mesurée aussi directement dans les deux paradigmes.

Plusieurs études pourraient illustrer la relative difficulté à relever l'avantage du niveau global dans les épreuves d'attention divisée. Par exemple, les travaux en potentiels évoqués ayant utilisé de telles tâches pour tester l'apparition du premier signe de traitement différencié des niveaux global et local (l'onde N250) ont la plupart du temps échoué à montrer une apparition plus précoce de cet indice pour le traitement global, ce qui aurait pourtant témoigner d'un avantage lié à ce niveau. Seuls Deruelle et Neville (1994) ont observé un déclenchement plus rapide de cette onde négative en cas de traitement global plutôt que de traitement local, alors que ce phénomène n'apparaît pas dans les expériences d'attention divisée de Johannes, Wieringa, Matzke et Münte (1996), Heinze et Münte (1993), Heinze, Johannes, Münte et Mangun (1994). Plus récemment, d'autres observations ont confirmé qu'il faut utiliser des tâches d'attention focalisée, rendant apparemment possible une sélection plus précoce du niveau, pour que la négativité d'une onde s'accroisse en cas de traitement global (plutôt que local) dès 190 ms, et que cette modulation disparaisse avec la suppression des fréquences spatiales basses (Han, Yund, & Woods, 2003).

Des études conduites auprès de patients autistes confirment encore l'importance de la différence de paradigme à l'égard de l'avantage du niveau global : alors qu'il est difficile d'observer cet avantage chez ces patients avec des épreuves d'attention divisée (e.g., Rinehart, Bradshaw, Moss, Brereton, & Tonge, 2000), ils répondent plus rapidement au niveau global qu'au niveau local lorsque la consigne requiert explicitement la sélection d'un niveau (Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999). Cette nuance est importante, car elle montre qu'ils ne sont pas incapables de traiter le niveau global, ni de diriger volontairement l'attention sur lui comme cela a parfois été supposé, mais qu'ils ont une préférence spontanée à traiter les détails.

Il a été proposé que la nécessité d'effectuer de fréquents passages de l'attention d'un niveau à l'autre pouvait être à l'origine du faible avantage du niveau global dans les tâches d'attention divisée : ce mécanisme supplémentaire de commutation entre niveaux viendrait obscurcir l'avantage du niveau global. Bien que cette idée soit intéressante, le mécanisme précis à la source de cet affaiblissement reste cependant un peu flou. Il est vrai que les réponses comportementales sont généralement plus rapides dans les tâches d'attention focalisée que dans les tâches d'attention divisée et la nécessité de désengager fréquemment l'attention pour passer d'un niveau de traitement à l'autre pourrait être responsable de ce retard général (Lux, Thimm, Marshall, & Fink, 2006), venant peut-être

masquer l'avantage du niveau global.

Etant donné que, par définition, la différence majeure entre les épreuves d'attention focalisée et d'attention divisée est de nature attentionnelle, la sensibilité de l'avantage du niveau global à cette différence de tâche témoigne du rôle de composantes attentionnelles dans ce phénomène. Même si certains auteurs comme Han et Jiang (2006) estiment que les régions dont l'activation est latéralisée selon le niveau traité sont grossièrement les mêmes dans les deux types d'épreuves, après avoir dressé le bilan de plusieurs études en imagerie cérébrale et en potentiels évoqués, nous avons vu que les mécanismes attentionnels et leurs supports neuroanatomiques sont en fait différents dans le détail. Notamment, Fink et ses collègues (1997a) ont montré que maintenir l'attention à un niveau augmente l'activation dans le gyrus lingual droit (niveau global) et le cortex occipital inférieur gauche (niveau local), apparemment sous le contrôle d'un réseau attentionnel basé sur des aires temporo-pariétales bilatérales et la région préfrontale dorso-latérale droite, alors que la gestion de fréquents changements de niveaux implique le cortex pariétal médian gauche et l'aire motrice supplémentaire gauche. Même au sein de la région temporo-pariétale dont l'implication est souvent évoquée dans les deux paradigmes, Weissman et Woldorff (2005) ont montré que l'asymétrie hémisphérique selon le déploiement de la préparation attentionnelle au niveau global ou local se situerait dans le sillon intra-pariétal, alors que l'asymétrie hémisphérique pour l'identification des éléments à l'un et l'autre niveaux se manifeste ensuite (après la présentation des stimuli) à la jonction du gyrus temporal supérieur et du lobe pariétal inférieur. Dès lors, les différences entre les deux tâches semblent majeures concernant l'attention, et l'inégale facilité à observer l'avantage du niveau global dans l'un ou l'autre paradigmes contribuerait à le décrire comme fortement dépendant de composantes attentionnelles.

2.3.2. Effets liés au style cognitif

Nous avons vu que l'absence d'avantage du niveau global chez les primates non humains, pourtant dotés d'un système visuel de bas niveau similaire à celui des humains, constitue un argument favorable à une explication de cet avantage, au moins partielle, par des mécanismes de haut niveau. Nous avons également vu que, selon les hypothèses attentionnelles fortes, il existerait un biais de l'attention vers l'information globale chez l'homme. Toutefois, quelques études portant sur les traits de personnalité et leurs liens avec la cognition suggèrent que chez certains humains adultes l'attention serait biaisée vers le niveau local. Yovel, Revelle et Mineka (2005) ont ainsi montré que des individus avec des traits de personnalité obsessionnelle dirigent plus fortement leur attention vers les détails des stimuli hiérarchisés dans des épreuves d'attention divisée entre les niveaux. Cette caractéristique est interprétée par les auteurs comme un biais de l'attention, qui conduit ces personnes à subir une interférence exceptionnellement forte par les informations locales, remarque cohérente avec l'observation clinique de l'intérêt porté par ces personnes à des détails peu pertinents dans l'environnement.

En s'intéressant tout simplement à l'influence de l'état de tristesse sur l'attention portée à l'information globale ou locale, Gasper et Clore (2002) montrent que les personnes testées qui se sentent de triste humeur sont moins enclines que celles qui se sentent heureuses à se baser sur les caractéristiques globales pour classer des figures.

Ce constat, dont il convient de relativiser la portée, suggère que ce que ressent une personne à un moment donné peut s'accompagner de (ou déclencher, selon les auteurs) une tendance à porter son attention sur des niveaux de complexité différents dans une scène. Gasper et Clore proposent l'interprétation suivante pour rendre compte du biais vers le local, constaté dans leurs travaux en lien avec la tristesse : la stratégie la plus directement disponible pour traiter l'information visuelle étant de porter l'attention au niveau global, le fait d'être d'humeur joyeuse correspondrait à une certaine sérénité amenant à considérer la stratégie disponible comme tout à fait suffisante, ce qui ne serait pas le cas si l'humeur est plus triste.

2.3.3. Effet des connaissances sémantiques sur les traitements visuels

2.3.3.1. INFLUENCES DE CONNAISSANCES SUR LES CATÉGORIES

Riddoch et Humphreys (1987, cités Pins, Meyer, Foucher, Humphreys, & Boucart, 2004) ont montré que le traitement des attributs physiques d'un stimulus commence avant l'activation des connaissances sémantiques sur cet objet. Toutefois, le traitement des attributs physiques ne se termine pas toujours avant l'intervention de connaissances sémantiques et celles-ci peuvent interférer avec des étapes relativement précoces du traitement visuel.

Récemment, Boucart et ses collaborateurs (Boucart & Humphreys, 1992, 1994, 1997) ont étudié ces interactions avec un paradigme d'appariement selon une caractéristique physique, dans laquelle les relations sémantiques entre les objets sont manipulées à l'insu du participant. Un dessin d'objet (image de référence) est présenté au centre de l'écran et est suivi de deux autres dessins (cible et distracteur) présentés en-dessous, l'un à droite, l'autre à gauche d'un point de fixation. La consigne demande d'apparier l'image de référence à l'une des alternatives, selon le partage d'une caractéristique physique précisée à l'avance (e.g., orientation). Les auteurs évaluent l'effet de l'information sémantique sur le traitement des caractéristiques physiques en manipulant les relations sémantiques entre le dessin de référence, la cible et le distracteur. La référence et la cible peuvent en effet être reliés sémantiquement ou non, et il en est de même pour la relation entre la référence et le distracteur. Les auteurs observent une interférence de l'information sémantique pour les tâches d'appariement selon des critères physiques tels que la forme (ronde *versus* ovale), l'orientation et la taille. L'interférence se manifeste ici par des temps de réponse plus courts et un taux d'erreurs plus bas lorsque la référence et la cible appartiennent à la même catégorie sémantique. De plus, un lien sémantique entre la référence et le distracteur augmente les temps de réponse et le taux d'erreurs. Ces effets ont été répliqués par Murray et Jones (2002) dans une tâche de catégorisation avec d'autres types de stimuli. L'ensemble de ces résultats témoigne d'un traitement automatique des relations sémantiques entre les objets même si ce traitement n'est pas requis par la tâche.

2.3.3.2. INFLUENCES DE LA FAMILIARITÉ

Etant donnée la précocité de la participation des connaissances sémantiques au

traitement visuel des objets, il est possible d'imaginer qu'elles puissent moduler un effet comme l'avantage du niveau global dans l'analyse d'un stimulus complexe. Quelques travaux portent sur cette question et manipulent la familiarité des dessins en tant que variable sémantique. Shull, Hupp et Haaf (2003) ont ainsi montré que la familiarité du stimulus situé à l'un ou l'autre niveau d'un stimulus hiérarchisé influence leurs traitements. Par exemple, lorsque la cible située au niveau local est plus familière que celle du niveau global, un avantage du niveau local peut se produire.

Tout récemment, Poirel et Mellet (2006) ont aussi apporté des arguments en faveur d'une différence de traitement des deux niveaux selon la familiarité des informations situées à chaque niveau. Ils opposent pour cela des dessins d'objets familiers à des dessins de non-objets. Devant un couple de stimuli hiérarchisés constitués de tels dessins, le participant doit décider si les stimuli sont complètement identiques ou non. Dans le cas des couples réclamant une réponse négative, la différence peut porter sur le niveau global ou le niveau local. De plus, les images peuvent être familières ou non familières, soit au niveau global, soit au niveau local. Dans les conditions où les images diffèrent, le niveau 'pertinent' est celui où cette différence est présente et le niveau 'non pertinent' est celui où les images sont identiques. Les auteurs observent tout d'abord un avantage du niveau global : une différence présente au niveau global est détectée plus vite qu'au niveau local. Toutefois, cet effet disparaît si le niveau 'non pertinent' contient des objets familiers. Tout se passe comme si la présence d'objets familiers au niveau local attirait l'attention, retardant alors la détection des différences au niveau global. Cela montre que l'identification des objets familiers se produit rapidement, automatiquement et attire l'attention au point de supprimer l'avantage du niveau global. Encore une fois, la conclusion est que l'avantage du niveau global n'est un phénomène ni absolu, ni strictement dépendant de composantes sensorielles ; il peut disparaître si l'attention est biaisée vers un autre niveau d'analyse. Ces résultats confortent donc ceux de travaux antérieurs sur la précocité de l'intervention de processus de haut niveau dans les traitements visuels (Boucart & Humphreys, 1992, 1994, 1997 ; Pins, Meyer, Foucher, Humphreys, & Boucart, 2004).

2.3.4. Effets de changement de niveau

Parmi les arguments montrant que l'efficacité du traitement des formes aux niveaux global et local peut être modulée par l'attention, les effets de changement de niveau ont une place privilégiée. Certaines de ces études visent en effet à étudier le plus directement possible si différents types de préparation attentionnelle, plus ou moins délibérément contrôlés, peuvent amener à privilégier un niveau. Elles cherchent aussi à déterminer si cette modulation attentionnelle porte uniquement sur le traitement des fréquences spatiales, sur le pré-ajustement d'une fenêtre attentionnelle ou sur d'autres mécanismes. Nous verrons que de telles influences attentionnelles peuvent aller jusqu'à supplanter l'avantage classique du niveau global.

2.3.4.1. EFFETS DE BIAIS DE PROPORTION

Dans une expérience pour laquelle la cible peut apparaître à l'un ou l'autre niveau des

stimuli hiérarchisés, il est possible de moduler les attentes des participants en faisant varier la proportion d'items dans lesquels la cible est située à un certain niveau. La particularité de cette manipulation est de s'appuyer sur une préparation dont le participant peut avoir conscience. Une consigne le renseigne d'ailleurs parfois explicitement sur la probabilité d'apparition des cibles à un certain niveau : l'attente peut ainsi être tout à fait délibérée dès le début de l'épreuve. Ce type de biais s'avère efficace, des réponses plus rapides pour le niveau local que pour le niveau global étant même relevées si la probabilité d'apparition des cibles est forte à ce niveau (Kinchla, Solis-Macias, & Hoffman, 1983). Lamb et Yund (1993) obtiennent aussi de tels résultats. De plus, ils montrent que l'utilisation de stimuli contenant ou non de basses fréquences spatiales ne change rien à ce renversement des effets. Le biais attentionnel provoqué ici se produit donc même s'il ne peut reposer sur la sur-activation des canaux de traitement des fréquences spatiales les plus appropriées au niveau le plus probable pour l'apparition de la cible.

2.3.4.2. EFFETS D'INDIÇAGE

Cette technique consiste à faire apparaître avant chaque stimulus un indice précisant à quel niveau la cible va probablement se trouver. Par rapport à la condition avec indiçage neutre, un indice valide accélère les réponses et un indice non valide engendre un coût (Lamb, Pond, & Zahir, 2000). Avec la méthode précédente (manipulation des proportions de cibles à chaque niveau), la nature, contrôlée ou non, des changements attentionnels est souvent ambiguë. Par contre, avec l'indiçage, si l'indice représente le niveau probable d'apparition de manière symbolique, il est possible d'utiliser le même symbole pour indiquer l'un ou l'autre niveau selon le groupe de sujets, et d'assurer ainsi le caractère contrôlé des engagements attentionnels. D'une manière générale, ces effets d'indiçage montrent que l'attention peut être sélectivement focalisée sur un niveau, non seulement à partir d'une consigne générale donnée en début d'épreuve (tâche d'attention focalisée), mais aussi au sein d'une épreuve où le niveau pertinent change fréquemment.

Les indices utilisés peuvent aussi être des flèches placées aux quatre angles de la figure qui apparaîtra : elles pointent vers l'extérieur pour indiquer le niveau global et vers l'intérieur pour le niveau local. Ces indices ont été utilisés en espérant modifier la taille de la fenêtre attentionnelle de manière appropriée avant l'apparition du stimulus (Robertson, Egly, Lamb, & Kerth, 1993). Une série de cinq expériences a permis à ces auteurs de montrer que l'indice préparant l'agrandissement de la fenêtre attentionnelle facilite le traitement de l'un comme de l'autre niveau, alors que l'indice qui induit un rétrécissement de cette fenêtre améliore sélectivement le traitement local. Ces données vont dans le sens d'un effet basé sur un mécanisme de pré-ajustement de l'attention visuo-spatiale sur une zone. Cette configuration de résultats est donc compatible avec la théorie de l'*attention ajustée par zone* ('*Regional Attention*') : un indice déterminerait une région à l'intérieur de laquelle toute information bénéficiera ensuite d'un avantage de traitement.

Lamb et Yund (2000) se sont quant à eux préoccupés de la nature attentionnelle ou automatique de l'effet d'indiçage pour un niveau, en donnant aux indices des significations opposées dans deux expériences. Un grand rectangle constitue l'indice pour une cible au niveau global et un petit rectangle est l'indice pour une cible au niveau local

dans l'Expérience 1, alors que le grand rectangle sert d'indice pour le niveau local et le petit est l'indice du niveau global dans l'Expérience 2. La condition valide (représentée par 60% des items) améliore la performance pour la discrimination de cible (H ou S) par rapport à la condition neutre (20% des items), qui suscite elle-même de meilleures performances que la condition non valide (20% des items). La persistance de l'effet malgré le changement d'interprétation des indices montre qu'il relève de processus attentionnels véritablement contrôlés (voir aussi Lamb, Pond, & Zahir, 2000, pour une confirmation de l'efficacité des indices malgré leur relation arbitraire avec le niveau). De surcroît, les auteurs observent la persistance des effets d'indigage en l'absence de basses fréquences spatiales, ce qui confirme encore que leur origine est de haut niveau.

2.3.4.3. EFFETS DU CONTEXTE DES TRAITEMENTS PRÉALABLES

Une dernière manière d'étudier l'induction d'un changement de niveau de traitement consiste à proposer une épreuve dans laquelle la cible apparaît de façon non prédictible à l'un ou l'autre niveau, et à comparer les performances pour deux types d'items : ceux dont le traitement nécessite de changer de niveau d'analyse par rapport à l'item antérieur et ceux qui requièrent un traitement au même niveau que l'item précédent. Il s'agit d'un effet du contexte mis en évidence pour la première fois par Ward (1982) et fréquemment utilisé, depuis, pour montrer qu'une fois effectué, un traitement impliquant un mode d'appréhension global ou local de l'information visuelle laisse une trace. Manipulé de cette manière, le changement de niveau est, là aussi, préjudiciable à la performance. Toutefois, ces effets de contexte posent beaucoup de questions : ils ne semblent pas de même nature que ceux engendrés par l'indigage classique et leur caractère attentionnel ou automatique fait débat, de même que la nature de ce qui est maintenu d'un item à l'autre. L'ensemble des questions posées par ces effets nous amène à proposer un développement plus approfondi dans la partie suivante.

2.4. Effets de changement de niveau (*switching*) induits par le contexte

Dans leur article de 2005, Hübner et Volberg (2005) rappellent que l'ajustement de l'attention n'est pas toujours contrôlé volontairement. Ainsi, notre implication dans un *type d'activité* ('*task set*') ne dépend pas seulement de notre souhait de suivre une consigne. Elle est aussi parfois imposée par les caractéristiques du traitement réalisé préalablement : ce dernier n'est pas toujours anodin quant à l'état subséquent du système attentionnel.

Dans les expériences où la cible apparaît aléatoirement au niveau global ou local, le participant est censée prêter une égale attention à chaque niveau. Toutefois, la succession des items dans la liste peut générer un biais de type contextuel, favorisant le niveau auquel une cible vient d'être traitée dans le stimulus précédent. Ce biais, initialement étudié sous le terme de *level-readiness effect*, est parfois qualifié de *level-repetition effect* ; nous le traduirons par '*effet de changement de niveau*' car il se manifeste par une détérioration des performances lorsqu'il faut traiter les cibles à des

niveaux différents dans deux items successifs. Il implique une certaine inertie des ajustements attentionnels qui permettrait une amélioration des performances lorsque la cible du stimulus n est précédée d'un stimulus $n - 1$ contenant lui aussi une cible au même niveau. Dès lors, l'effet de changement de niveau est un moyen intéressant pour étudier les interactions entre processus attentionnels et perceptifs dans le traitement de stimuli visuels complexes. Nous décrivons les caractéristiques de cet effet dans la partie 2.4.1.

L'amoindrissement des performances si le niveau pertinent diffère entre les stimuli n et $n - 1$ est appelé 'coût dû au *switch*' (*switch cost*) et peut être attribué à deux choses :

a/ les mécanismes neuronaux spécialisés dans le traitement du niveau où se situe la cible dans le stimulus n reçoivent peu de ressources attentionnelles, celles-ci étant encore concentrées sur les mécanismes spécialisés dans le traitement de l'autre niveau. Nous traiterons ce point dans la partie 2.4.2., en présentant les hypothèses actuelles sur la nature des mécanismes défavorisés par le changement de niveau ;

b/ si le niveau de traitement change, un processus supplémentaire doit être réalisé pour donner priorité au mode de traitement pertinent dans le stimulus n : ce processus est une commutation de niveau ('*switch*') ou, selon l'expression de Hübner et Volberg (2005), entre deux *task sets*. Ce processus sera présentée plus précisément dans la partie 2.4.3.

2.4.1. Description du 'level-readiness effect'

A partir d'une série d'expériences, Ward (1982) a décrit le phénomène de '*level-readiness effect*' : lorsque la cible peut apparaître à l'un ou à l'autre niveau, les performances sont meilleures pour un item n si l'item $n - 1$ contient lui aussi une cible au même niveau.

Il s'agit tout d'abord véritablement d'un effet relatif au niveau, non confondu avec l'effet de répétition d'une même cible. Autrement dit, l'effet se produit même si la cible à discriminer (ainsi que la réponse motrice à réaliser) n'est pas la même d'un item à l'autre (Lamb & Yund, 1996 ; Rafal & Robertson, 1995 ; Robertson, Egly, Lamb, & Kerth, 1993 ; Robertson, 1996). Ce qui est maintenu d'un item à l'autre n'est donc pas simplement la représentation interne de la cible préalablement objet d'attention, mais le niveau de structure auquel cette cible fut traitée. Notons toutefois que, si cet effet n'est pas réductible au seul fait que la réponse à donner soit la même, des expériences montrent que le changement de réponse peut interagir avec le changement de tâche (Hübner & Druey, 2006) : les expériences étudiant l'effet de changement de niveau ont donc intérêt à contrôler la répétition de réponse.

Par ailleurs, cet effet est robuste et a été reproduit à partir de tâches diverses. Ward (1982) l'a ainsi observé dans une tâche d'identification (Expériences 1, 2 et 3), une tâche de jugement de similarité (Expérience 4) et une tâche de recherche de cible (Expériences 5 et 6). De plus, à travers les trois premières expériences, il montre la stabilité de l'effet face à différentes contraintes. Dans la première, le participant voit apparaître le stimulus hiérarchisé au moment exact où il fournit sa réponse à l'item précédent : cette procédure optimise l'apprêtement du participant à continuer le traitement au même niveau et permet de recueillir un fort effet de répétition de niveau (Expérience 1), mais l'effet est aussi répliqué quand des délais variables sont introduits entre les stimuli (Expérience 2). Bien

qu'il puisse se déclencher très précocement, cet effet se maintient aussi après un délai de trois secondes entre les stimuli (Robertson, 1996). De même, l'effet persiste avec des stimuli de plus grande taille, qui auraient pu masquer l'effet en biaisant fortement l'analyse vers le niveau local (Expérience 3). Il se maintient également malgré la variation de l'emplacement du stimulus hiérarchisé (Robertson, 1996).

Le 'level-readiness effect' a aussi été décrit comme symétrique, ce qui contribue à le décrire comme massif, et à confirmer sa différence avec l'effet, asymétrique, de l'indiçage (*i.e.*, l'indice non-valide est plus perturbant pour le niveau local que pour le niveau global, Kotchoubey, Washer, & Verleger, 1997). Ward (1982) observe ainsi une détérioration des performances comparable pour le passage du niveau global au niveau local et pour le passage inverse. Toutefois, une analyse précise des résultats montre que la symétrie n'est pas la caractéristique la plus stable de l'effet. Hübner (2000) observe par exemple que le retard induit par un changement de niveau se produit dans les deux sens, mais le retard induit par le passage du niveau global au niveau local est plus net. L'observation d'une augmentation de l'amplitude de l'onde précoce P1 dans le seul cas où une cible locale est précédée d'un item contenant la cible au niveau global traduirait aussi la difficulté particulière à passer du niveau global au niveau local (Han, He, & Woods, 2000). Shedden, Marsman, Paul et Nelson (2003) observent pour leur part un effet de changement de niveau plus fort dans le sens du passage du local sur le global pour les cibles globales, au moins dans des conditions assez particulières concernant les distracteurs. De même, Wilkinson, Halligan, Marshall, Büchel et Dolan (2001) observent un ralentissement plus marqué pour le passage du niveau local au niveau global, mais cette différence n'atteint pas le seuil de significativité.

Un certain consensus existe par contre sur le fait que l'effet de répétition de niveau échappe au contrôle volontaire : il se distingue en cela clairement de l'effet d'indiçage. Lamb, London, Pond et Whitt (1998) ont par exemple montré que, dans une situation où les participants peuvent facilement prédire le niveau d'apparition de la cible dans chaque stimulus parce que ce niveau alterne systématiquement d'un item à l'autre, les performances sont particulièrement faibles par rapport à des épreuves où le niveau est constant, ce qui témoigne de la persistance du coût dû au changement de niveau et du faible impact de l'attention volontaire sur cette opération. Hübner (2000) confirme l'inefficacité du contrôle volontaire sur les effets de changement de niveau. Avant l'apparition du stimulus hiérarchisé, il insère un signal sonore valide indiquant au participant le niveau auquel il doit ajuster son attention pour être performant. Une procédure de type '*self-paced*' est utilisée et permet au participant de décider du délai nécessaire pour interpréter le signal et voir apparaître le stimulus. Malgré ces conditions favorables à une préparation attentionnelle optimale, les performances se sont avérées, ici encore, très influencées par le contexte du traitement précédent. De même, Lamb, Pond et Zahir (2000) ont montré que le bénéfice produit par l'identité de niveau des cibles dans les items n et $n - 1$ n'est pas affecté par un indiçage arbitraire : il échappe donc au contrôle volontaire. Dans cette dernière recherche, des précautions expérimentales supplémentaires par rapport à celles prises par Hübner (2000) augmentent la portée du résultat : les indices utilisés ne sont pas toujours valide et ils ne sont pas de la taille des cibles à venir. Pour finir, des travaux en potentiels évoqués confirment la différence entre

effets d'indication contrôlés volontairement et effets de répétition de niveau, en décrivant l'implication de régions différentes dans l'un et l'autre cas (Yamaguchi et al., 2000). Alors que le lobule pariétal inférieur gauche est impliqué dans le maintien de l'empreinte attentionnelle à un certain niveau de traitement induit par le traitement précédent, le traitement d'un indice s'accompagne de l'activation de la région temporo-pariétale droite s'il signale l'arrivée d'une cible au niveau global et de l'activation du cortex temporal postérieur gauche s'il signale l'arrivée d'une cible locale. Non seulement les régions impliquées par l'action de ces deux sources d'orientation de l'attention ne sont pas les mêmes, mais la latéralisation des activations est déterminée par le niveau à traiter seulement en cas d'indication. L'ensemble de ces données suggère que les effets de changement de niveau reposent, au moins en partie, sur des mécanismes automatiques qui échappent au contrôle stratégique, contrairement aux effets d'indication arbitraire.

2.4.2. Nature de ce qui est maintenu d'un item à l'autre

L'ajustement attentionnel qui vient d'être réalisé pour traiter l'information à un certain niveau de complexité présenterait une certaine inertie, et ne reviendrait pas à un niveau de base, qui aurait par exemple pu être intermédiaire entre les niveaux, ou aurait pu correspondre à l'ajustement pour le niveau global, décrit comme privilégié par défaut. Mais quelle est la nature de ce pré-ajustement : consiste-t-il en un surcroît de ressources alloué au traitement du niveau auquel se trouvait la cible dans l'item précédent ? Le pré-ajustement de l'attention est-il de nature plus spatiale et consiste-t-il, comme le propose la '*Regional Hypothesis*', à maintenir une fenêtre attentionnelle ajustée à la dimension de l'information formée par la cible précédente ? Consiste-t-il plutôt, comme le propose la '*Categorical Hypothesis*,' à maintenir l'engagement dans des mécanismes perceptifs et/ou attentionnels adaptés à un mode d'analyse ?

2.4.2.1. LA 'REGIONAL HYPOTHESIS'

Des travaux réalisés à la fin des années 70' ont montré que l'inadéquation du pré-ajustement de la taille d'une fenêtre attentionnelle est susceptible de ralentir de 50 ms l'identification d'une lettre (Larsen & Bundesen, 1978). Ces auteurs induisaient une telle attente spatiale en faisant en sorte que 75% des cibles soient de la même taille que la cible précédente. Il paraissait assez naturel de proposer d'expliquer par un mécanisme de ce type l'effet produit par l'inadéquation des niveaux auxquels des cibles apparaissent d'un item à l'autre. C'est ce que propose l'hypothèse de '*Regional Attention*'

Dans son article initial sur l'effet de répétition, Ward (1982) propose que la répétition de niveau permet peut-être à une fenêtre attentionnelle (la dimension du *spotlight* ou faisceau attentionnel) de conserver sa taille d'un item à l'autre. Cette explication, exprimée en termes spatiaux, est cependant affaiblie par son incapacité à rendre compte de certains phénomènes, et l'effet de changement de niveau ne repose sans doute pas exclusivement sur ce mécanisme. En effet, le modèle de l'ajustement du faisceau soutient que celui-ci agit en un lieu précis de l'espace. Or, l'effet de changement de niveau résiste à la variation de position des stimuli hiérarchisés sur l'écran (Lamb & Yund, 1996b). De plus, ce modèle prédit que l'ajustement d'une fenêtre d'assez grande taille serait favorable au traitement de toute information survenant dans cette région : si la cible dans l'item n –

1 est située au niveau global, cela devrait être favorable au traitement d'un item n dont la cible se situe au niveau global, mais aussi lorsqu'elle est plus petite et située au niveau local. Or, ce n'est pas le cas (Lamb & Yund, 1996b) car les effets de changement de niveau sont généralement symétriques (le coût du changement est le même pour passer du local au global que pour le passage inverse), ce qui affaiblit ce type d'interprétation (Filoteo, Friedrich, & Stricker, 2001). Notons toutefois les limites de ce dernier argument : le traitement d'un petit élément pour l'item dans un faisceau attentionnel de grande taille imposé par le traitement de l'item n-1 impose peut-être, dans le cas de stimuli hiérarchisés avec une forte densité au niveau local, d'inhiber une partie de l'information dans le faisceau et de dépasser aussi une gêne liée au masquage latéral. Dans ce cas, le fait d'avoir pré-ajusté une fenêtre de grande taille ne devrait pas aider le traitement ultérieur d'une cible locale. Les arguments apportés par Kim, Ivry et Robertson (1999) sont plus convaincants. Ils montrent un maintien de l'effet de changement de niveau, malgré d'importantes variations de taille des stimuli d'un item à l'autre. Les effets demeurent, même en utilisant des stimuli dont la taille au niveau global est la même que celle des éléments locaux dans d'autres stimuli hiérarchisés de la liste. Ce qui est maintenu d'un item à l'autre n'est donc pas seulement la taille d'un faisceau attentionnel adapté à la taille de l'objet, mais correspond à des mécanismes dont la spécificité se définit par la position des objets dans une structure hiérarchisée, ce qui implique un niveau de représentation relativement abstrait.

2.4.2.2. LA 'CATEGORICAL HYPOTHESIS'

Dans son article de 1982, Ward propose une autre hypothèse d'interprétation, qu'il dit inspirée de Hoffman (1980). Il parle de l'attention comme d'une quantité de ressources pouvant être distribuées entre les niveaux. Aussi, les cibles situées au même niveau que dans l'item précédent seraient particulièrement faciles à traiter parce qu'une plus grande quantité de ressources serait encore attachée au niveau le plus pertinent. Une sorte de système de vases communicants est décrit, l'augmentation des ressources attentionnelles à un niveau se faisant au détriment de celles allouées à l'autre niveau. La '*Categorical Hypothesis*' propose ainsi un maintien à disposition de certains mécanismes spécifiques à la *catégorie* de traitements définie par le niveau d'analyse. Il reste alors à préciser la nature de ce qui est ainsi renforcé par les ressources supplémentaires.

Robertson et ses collègues (1993) pensent que l'empreinte attentionnelle ('*attentional print*') impliquerait des canaux spécialisés dans le traitement de certaines fréquences spatiales, car c'est ce qui distinguerait selon eux, fondamentalement, les deux niveaux d'analyse. Un canal de traitement spécialisé dans certaines fréquences de hauteur déterminante pour le niveau de la cible dans l'item précédent conserverait un poids plus fort après son utilisation (Robertson, 1996). Cela revient à dire que des mécanismes sensoriels participent aux effets de répétition de niveau. Des travaux en potentiels évoqués ont apporté des éléments en faveur de cette participation en montrant que les changements de niveau ont des corrélats électrophysiologiques occipito-temporaux précoces (Han, He, & Woods, 2000).

Cependant, plusieurs travaux suggèrent aussi que le maintien de cet aspect sensoriel n'est pas indispensable à l'effet de répétition de niveau, tout comme, nous l'avons vu,

l'efficacité d'un biais induit par la proportion de cibles vers l'un ou l'autre niveau demeure, même si les deux niveaux doivent être analysés à partir des mêmes fréquences spatiales (Lamb & Yund, 1993). La suppression des fréquences spatiales basses n'affecte pas systématiquement l'effet de changement de niveau. Certes, Robertson (1996) observe une diminution de cet effet avec la suppression de fréquences spatiales basses, mais Lamb et Yund (1996) observent au contraire son maintien lorsque les formes globale et locales s'appuient sur de mêmes fréquence spatiales. Ces auteurs montrent que la suppression des fréquences spatiales basses réduit l'avantage temporel pour le traitement du niveau global, sans pour autant supprimer l'effet bénéfique de la répétition de niveau. Les fréquences spatiales ne seraient donc pas à la base essentielle de la sélection attentionnelle des niveaux participant aux effets de changement de niveau. Pour proposer une explication à la différence de résultats chez Robertson (1996) et chez Lamb et Yund (1996), Hübner (2000) fait remarquer que, dans les expériences de Robertson, la fréquence spatiale n'est pas le seul aspect variant d'un item à l'autre : le contraste et la luminosité varient également, alors que ces aspects sont mieux contrôlés dans l'expérience de Lamb et Yund (1996). Hübner (2000) réplique le résultat de Lamb et Yund, en utilisant une technique différente pour réduire les fréquences spatiales basses (au lieu de jouer sur les contrastes, il filtre les stimuli en ne laissant passer que les hautes fréquences spatiales). Lamb et Yund (2000) ont par ailleurs encore répliqué leur effet dans des expériences plus récentes, toujours en l'absence de fréquences spatiales basses.

Selon eux, le bénéfice apporté par la répétition de niveau reposerait sur un cas particulier d'amorçage, qui ne serait pas uniquement perceptif et impliquerait sur le maintien de mécanismes appropriés au niveau concerné (*'Categorical Hypothesis'*). Les mécanismes en question seraient de plus haut niveau que la différence entre des canaux sensoriels spécialisés pour certaines fréquences spatiales. Pour reprendre les termes de Hübner (2000, p. 468), « il s'agirait d'une forme d'amorçage de type abstrait dans lequel les niveaux seraient représentés comme des catégories ». Etant donné qu'ils impliqueraient une certaine capacité d'abstraction à propos des niveaux de traitement, Hübner et Volberg (2005) considèrent que les effets de répétition de niveau relèvent du même domaine de recherche que les travaux sur le changement de tâche (*'task-set shifting'*) (voir aussi Hübner, Futterer, & Steinhauser, 2001).

Etant donné qu'un stimulus hiérarchisé n'est pas simplement un ensemble de dessins de différentes tailles dispersés dans l'espace, mais qu'il existe une relation spatiale hiérarchique entre les éléments, cet aspect de structure pourrait être conceptualisé. La façon dont les traits de cet objet ont été traités lors de la précédente sélection attentionnelle dépendrait du niveau de cet objet dans la hiérarchie de la scène complexe, et la représentation associée à ce traitement spécifique laisserait une trace, maintenue jusqu'au stimulus suivant. Cela semble compatible avec le fait que la spécificité des régions cérébrales impliquées selon les niveaux ne s'explique pas uniquement par la différence entre les fréquence spatiales traitées, mais aussi par une orientation particulière de l'attention vers un niveau de la hiérarchie, défini en terme de structure. Cette orientation attentionnelle particulière, définie par la relation spatiale entre les informations organisées en hiérarchie (aspect non strictement sensoriel et attaché à un

niveau de traitement relativement élevé) se maintiendrait entre les items. Dans une expérience audacieuse, Large et McMullen (2006) ont récemment montré que le traitement du dessin d'un objet à un niveau de catégorie conceptuelle plus ou moins élevé (e. g., nécessité de traiter un dessin d'oiseau, comme un animal ou un oiseau) peut être facilité selon la compatibilité de la hauteur de ce niveau avec le niveau de traitement d'un stimulus hiérarchisé présenté immédiatement avant. Ils montrent notamment que le traitement d'un stimulus hiérarchisé au niveau local peut amorcer favorablement la catégorisation d'un dessin à un niveau subordonné de la hiérarchie conceptuelle, niveau pour lequel le traitement de détails est primordial. En utilisant des stimuli hiérarchisés de tailles variées, ils montrent que cet effet n'est pas seulement imputable à un préajustement adapté de la taille d'une fenêtre attentionnelle. Ce dernier exemple illustre à quel point ce qui est maintenu du traitement d'un stimulus hiérarchisé à un autre relève du mode d'appréhension de l'information visuelle en termes de relations spatiales (*i. e.*, opposition *grouping/parsing*, groupement/analyse des détails), dans ses dimensions hiérarchiques. Cette recherche souligne aussi la pertinence de l'étude des traitements global/local pour comprendre la reconnaissance d'objets : en favorisant l'extraction des informations visuelles les plus pertinentes, l'amorçage par un mode de traitement global est ainsi bénéfique à la discrimination d'objets au niveau de base, alors que l'amorçage par le mode de traitement local est bénéfique à celle d'objets au niveau subordonné.

2.4.3. Processus de changement de niveau ou switch

2.4.3.1. LIEN ENTRE CHANGEMENT DE TÂCHE ('TASK SWITCHING') ET CHANGEMENT DE NIVEAU

Certains auteurs ont rapproché les effets de changement de niveau d'un autre type d'effet, faisant l'objet d'une abondante littérature dans le domaine des fonctions exécutives et qui ne pourra être trop développé ici : l'effet de changement de tâche (*'task switching'*). Citons simplement par exemple Rogers et Monsell (1995), qui montrent que l'alternance entre deux consignes à appliquer sur une liste de chiffres (décider si le chiffre est pair ou impair, *versus* juger s'il est supérieur ou inférieur à 5) amoindrit les performances par rapport à une situation où ces deux consignes sont suivies par les participants dans des blocs séparés. Les effets de changement de tâche et de changement de niveau présentent des analogies, car l'un et l'autre impliquent des composantes attentionnelles mais aussi automatiques. Lamb, Pond et Zahir (2000) estiment que le changement de niveau d'un item à l'autre est un exemple de changement de tâche, notamment parce que, dans un cas comme dans l'autre, certaines composantes liées à ce qui persiste d'un traitement antérieur échappent au contrôle volontaire du sujet (Meiran, 1996). Les deux domaines de recherche se rejoignent aussi parce qu'ils ont les mêmes difficultés à distinguer, parmi les régions cérébrales impliquées, celles dont l'activité traduit le rôle de contrôleur ou de contrôlé (pour une revue sur ce point concernant le changement de tâche, voir Monsell, 2003).

Le réseau impliqué dans le *switch* entre tâches est fronto-pariétal. L'activation des régions frontales et pré-frontales est toutefois variable selon les tâches, selon les sujets, et davantage impliquée dans l'inhibition (Gehring, & Knight, 2002) : il faut que le contrôle

de l'allocation de ressources soit difficile, avec la nécessité de contrecarrer l'attraction de l'attention par des informations non-valides venant du stimulus (Pollman, 2001). Notons que cette condition est remplie par la plupart des expériences impliquant un *switch* entre niveaux dans les stimuli hiérarchisés, composés d'informations en concurrence, et quand elle ne l'est pas (*i. e.*, les distracteurs sont toujours les mêmes au niveau non pertinent), le coût dû au changement disparaît (Shedden, & al., 2003). Dans les expériences de changement de tâche, les activations les plus stables et les plus spécifiquement liées au *switch* impliquent le cortex pariétal supérieur postérieur (surtout dans l'HG) (Dove, Pollman, Schubert, Wiggins, & von Cramon, 2000 ; Gurd, Weiss, Amunts, & Fink, 2003 ; Sylvester, & al., 2003).

La complexité des activations cérébrales impliquées et leur variation selon de nombreux paramètres conduisent à décrire le *switch* entre tâches non comme une opération unique, mais comme un processus complexe, impliquant des composantes multiples, sous-tendues par des régions cérébrale variées (Rushworth, Passingham, & Nobre, 2005). Une distinction est notamment faite entre un mécanisme contrôlant le *passage* de l'attention entre les tâches et un mécanisme chargé de résoudre l'interférence entre les tâches en *inhibant* l'attention portée à ce qui n'est plus pertinent (Rubenstein, Meyer, & Evans, 2001 ; Sylvester, & al., 2003). Nous verrons que la réflexion à propos du changement de niveau dans des stimuli hiérarchisés nous conduira à une perspective similaire.

2.4.3.2. SUPPORTS NEURO-ANATOMIQUES DU PROCESSUS DE CHANGEMENT DE NIVEAU

Historiquement, les premiers éléments concernant les supports neuro-anatomiques des effets de changement de niveau nous viennent de la description des déficits de quelques patients en neuropsychologie. Robertson, Lamb et Knight (1988) ont observé que seuls les patients avec des lésions centrées sur l'aire 39 du lobule pariétal inférieur gauche ne sont pas affectés par la manipulation de la proportion des cibles à un certain niveau, alors que les patients souffrant d'une lésion de la jonction temporo-pariétale ou du lobe frontal droit ou gauche le sont de manière normale. La région pariétale inférieure gauche a donc été initialement reliée au contrôle de la distribution de l'attention entre les niveaux. Cependant, l'analyse précise des données item par item a révélé que les patients atteints de lésions dans cette aire souffrent surtout d'une tendance à ne pas garder de trace du niveau de traitement préalablement sélectionné, puisqu'ils sont insensibles au changement de niveau (Rafal & Robertson, 1995). Le rôle du lobule pariétal inférieur gauche a donc avant tout été décrit comme celui d'assurer le maintien de l'empreinte attentionnelle à un certain niveau de traitement.

Comme nous l'avons déjà décrit, des données en TEP ont ensuite permis d'observer une relation entre la fréquence des alternances entre niveaux des stimuli hiérarchisés imposée par une expérience d'attention divisée, et des activations latéralisées à gauche, dans l'aire motrice supplémentaire et dans le cortex pariétal médian (Fink, & al., 1997a). S'il impose un changement de niveau, le traitement d'un stimulus hiérarchisé s'accompagne aussi d'une augmentation de l'amplitude de l'onde P290 recueillies par les électrodes correspondant au lobe pariétal gauche (Schatz & Erlandson, 2003). Dès lors, il semble que le cortex pariétal soit aussi impliqué dans le changement de niveau lui-même

(le processus de *switching*). Il reste bien sûr possible que les régions impliquées, dans leurs détails, ne soient pas exactement les mêmes (il s'agit ici du cortex pariétal *médian*).

Toujours pour ce qui est de la région pariétale, une étude en Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) a confirmé son implication majeure en cas de changement de niveau de traitement d'un stimulus hiérarchisé à l'autre (Wilkinson et al., 2001). Ces auteurs montrent que, en particulier lorsque le changement de niveau est rendu plus difficile par un grand nombre de répétitions préalables à un autre niveau, des activations sont relevées dans l'aire motrice correspondant à la main, mais aussi dans le cortex pariétal inférieur, de façon bilatérale. Le fait que ces activations pariétales se manifestent particulièrement si le changement de niveau est difficile conduit les auteurs à supposer leurs rapports avec la nécessité d'inhiber les mécanismes mis en valeur par le contexte préalable. Cette inhibition peut être conçue comme un mécanisme différent de celui de maintien de la trace et de celui de passage entre niveaux ; décrit comme un mécanisme d'inhibition, il permet au système de se mettre en rupture avec une attente forte et de se désengager d'un mode de traitement devenu inapproprié. Alors que le rôle de régions pariétales dans le maintien de la trace et dans le changement de niveau lui-même a été relaté pour l'HG, le caractère bilatéral des activations relevées par Wilkinson et al. (2001) suggère que des régions pariétales situées dans l'HD pourraient être particulièrement impliquées dans le mécanisme d'inhibition des mécanismes non pertinents.

En bref, il apparaît que l'implication de régions pariétales a été successivement interprétée comme liée à un mécanisme préalable au changement de niveau (le maintien d'une trace des traitements antérieurs, Rafal & Robertson, 1995), puis à la gestion du changement de niveau lui-même, en tant que passage (Fink, & al., 1997a) et enfin à un mécanisme inhibiteur conditionnant la réalisation de ce changement. Il n'existe pas de synthèse sur le sujet et les données sont bien sûr encore trop rares pour conclure, mais il semble que, à l'image du *switch* entre tâches, le *switch* entre les niveaux de stimuli hiérarchisés soit un processus complexe, décomposable en plusieurs mécanismes, dont les supports neuro-anatomiques sont en partie distincts.

À l'appui de cette perspective, nous pouvons évoquer des études neuropsychologiques montrant que le changement de niveau d'analyse d'un item à l'autre peut être altéré de manières différentes selon le type de démence des patients, ce qui concorde avec une description composite du processus de changement de niveau. Le *switch* d'un niveau à l'autre est un processus particulièrement vulnérable à certaines démences. Filoteo et ses collègues. (1992) observent notamment un accroissement de l'effet négatif du changement de niveau chez des patients atteints de démence de type Alzheimer (DTA). L'attention des patients resterait trop fortement engagée dans le mode de traitement préalable, mais il pourrait aussi s'agir d'une difficulté à inhiber des mécanismes inappropriés pour s'en désengager. Salvin, Mattingley, Bradshaw et Storey (2002) confirment que les patients atteints de DTA se caractérisent par un surcoût important dû à la nécessité de changer de niveau d'analyse. Bien que moindre par rapport à celui des patients avec DTA, le coût dû au *switch* s'accroît aussi avec le vieillissement normal : il est déjà plus important chez les personnes de 40-60 ans que dans un groupe de 20-40 ans, et ce coût devient vraiment très marqué dans un groupe de 61 à 80 ans

(Georgiou-Karistianis, Tang, Mehmedbegovic, Farrow, Bradshaw, & Sheppard, 2006). Au contraire, les patients atteints d'une maladie de Parkinson sont moins influencés que les sujets contrôles par la nécessité de changer de niveau d'analyse : ils se distinguent donc par une anomalie du changement de niveau, mais celle-ci a une forme particulière (Filoteo, Delis, Demadura, Salmon, Roman, & Shults, 1994 ; Filoteo, & al., 1995). Ces patients semblent insuffisamment maintenir l'attention au niveau venant d'être traité, phénomène que certains relient à une difficulté de maintien de l'information en mémoire de travail et à un déficit du circuit fronto-striatal probablement impliqué dans cette forme de maintien de la focalisation attentionnelle (Pollux, 2004). Une anomalie de même type a été observée aussi chez certains patients schizophrènes avec symptômes positifs, et donnant lieu à un phénomène d'*over-switching* (Diab, 2005). Enfin, les patients souffrant d'une maladie de Huntington présentent quant à eux des effets de changement de niveau comparables à ceux des sujets contrôles, et il apparaît donc que ces formes de démences ne perturbent pas uniformément le processus de changement de niveau (Filoteo, & al., 1995).

2.4.3.3. QUESTION DE L'ANALOGIE ENTRE 'SHIFT' DANS L'ESPACE ET 'SWITCH' ENTRE NIVEAUX

Etant donné que le processus de changement de niveau semble articuler plusieurs mécanismes, il est tentant d'établir une analogie avec le processus d'orientation de l'attention dans l'espace ('*shift*' attentionnel). Cette analogie fait débat dans la littérature scientifique actuelle. Ce rapprochement a été proposé par plusieurs auteurs, notamment Rafal et Robertson (1995) sur la base d'observations neuropsychologiques, Robertson et Rafal (2000) à partir de travaux montrant l'importance du lobe pariétal gauche pour le changement de niveau et pour le déplacement de l'attention entre objets et Fink et ses collègues (1997a) en évoquant la proximité des régions cérébrales activées dans l'un et l'autre cas.

Filoteo et son équipe proposent cette analogie (Filoteo & al., 2001). Même s'il s'agit vraisemblablement de processus en partie différents, un rapprochement entre les deux leur semble possible, car les profils de perturbations de ces deux processus selon les formes de démence présentent des ressemblances. En effet, les patients atteints de DTA détectent avec grand retard les cibles présentées à un endroit différent de celui signalé par un indice préalable (paradigme d'orientation spatiale de Posner, 1980) (Parasumaran, Greenwood, Haxby, & Grady, 1992), alors que les patients avec une maladie de Parkinson se distinguent des sujets contrôles par une absence de sensibilité à l'indiçage spatial, interprétée comme un déficit du maintien de l'attention (Filoteo, Delis, Salmon, Demadura, Roman, & Shults, 1997 ; Wright, Burns, Geffen, & Geffen, 1990) et les patients atteints d'une maladie de Huntington présentent peu de déficit dans ce type d'épreuve (Sprengelmeyer, Lange, & Homberg, 1995). La configuration de ces anomalies rappelle celle décrite dans le paragraphe précédent, pour ces mêmes pathologies, dans les épreuves de changement de niveau.

Filoteo et ses collègues (2001) argumentent ce rapprochement en évoquant l'implication du lobe pariétal dans les deux processus. Il est vrai que des lésions de cette région sont souvent associées à une insensibilité à l'amorçage spatial (Farah, Wong,

Monheit, & Morrow, 1989 ; Friedrich, & al., 1998 ; Posner et al., 1984, 1987) et les activations dans la partie médiane du lobe pariétal gauche sont corrélées chez les sujets sains à la quantité de changements de niveaux imposée dans l'épreuve (Fink, & al., 1997a). Toutefois, l'étude du cas d'un patient atteint d'une lésion temporo-pariétale droite et présentant un déficit pour désengager l'attention du côté ipsilatéral à la lésion pour traiter une cible dans le champ visuel contralatéral conduit Filoteo et ses collègues. (2001) à ne pas assimiler directement le mécanisme de désengagement impliqué dans ce processus et celui impliqué dans le passage d'un niveau d'analyse à l'autre. Pour ce patient, les auteurs faisaient en effet l'hypothèse d'un déficit pour passer du niveau local au niveau global, étant donnée la latéralisation droite de la lésion. Conformément à d'autres cas de lésion temporo-pariétale droite, ce patient présentait un déficit général pour traiter le niveau global, mais il était moins gêné pour passer du niveau local au niveau global que l'inverse. Les auteurs ont conclu qu'il n'y avait pas là d'argument suffisant pour un support neuronal tout à fait commun au shift entre régions de l'espace et entre niveaux d'un objet unique.

2.4.3.4. VERS NOTRE HYPOTHÈSE SUR LA DISTINCTION DE DEUX MÉCANISMES : INHIBITION DE TRAITEMENTS LIÉS À UN NIVEAU VERSUS PASSAGE VERS UN AUTRE MODE DE TRAITEMENT

Notre hypothèse est que le processus permettant le changement de niveau d'analyse d'un item à l'autre implique plusieurs opérations. Le *passage* lui-même d'un niveau à l'autre semble lié à la partie médiane du lobe pariétal gauche (Fink, & al., 1997b). L'absence d'effet de changement de niveau en cas de lésion du lobe pariétal inférieur gauche (Rafal & Robertson, 1995) pourrait s'expliquer par la participation de cette région au maintien de *l'engagement* dans le niveau de traitement précédent, ce qui serait compatible avec la covariation entre maintien de l'attention sur une succession de stimuli à traiter au même niveau, d'une part, et intensité des activations réparties largement dans la région temporo-pariétale, d'autre part (Fink, & al., 1997b). En plus, de ces deux composantes, nous faisons l'hypothèse que le changement de niveau est précédé d'un mécanisme de *désélection* du niveau d'analyse précédent, impliquant une inhibition, et permettant de s'en désengager. Il aurait été intéressant de tester cette hypothèse à partir de l'étude de cas de patients atteints de lésions précisément localisées, ou à partir d'expériences conduites en imagerie cérébrale. Notre travail consiste plus simplement à utiliser la technique de présentation en champ visuel divisé. Cette dernière ne peut apporter que quelques éléments à propos de la latéralisation des régions cérébrales majoritairement impliquées, sans nous informer sur leur localisation précise. Aussi, le seul point que nous proposons de tester, en première intention par rapport à cette hypothèse, est la possibilité d'un effet différent du champ visuel de présentation pour le processus de changement de niveau dans son ensemble, d'une part (en nous appuyant sur ce qui précède, un avantage pour les changements intervenant en CVD-HG est alors attendu), et pour le désengagement du niveau de traitement précédent, d'autre part. Pour ce dernier mécanisme, un avantage en CVG-HD permettrait de défendre l'idée d'une opération de désélection relativement indépendant. L'hypothèse de cette spécialisation hémisphérique droite pour des mécanismes permettant le désengagement de certains

types de traitements s'appuie en outre sur un aspect des données de Wilkinson et ses collègues. (2001). Nous reviendrons plus précisément sur leurs travaux à la fin de cette partie, mais signalons pour l'instant que, si le lobe pariétal inférieur *gauche* est particulièrement lié au changement de niveau, cette région est activée de façon *bilatérale* lorsque l'inhibition des mécanismes de traitement du niveau devenu non pertinent est rendu très difficile par les nombreuses répétitions de traitement préalable à un autre niveau avant ce changement. Aussi, une dominance de régions de l'HD pour le mécanisme permettant de *désélectionner* et de se désengager d'un mode de traitement devenu inapproprié nous paraît possible, car il expliquerait l'activation bilatérale observée par Wilkinson et ses collègues (2001).

La faiblesse de notre hypothèse est que toute autre configuration de résultat (e. g., avantage de l'HG pour les mécanismes de désélection, ou absence de dominance hémisphérique) ne permettrait pas de discuter les résultats. Pour la défendre tout de même, nous avançons deux arguments : l'idée d'une différence de dominance hémisphériques pour des mécanismes distinct composant le processus de changement est cohérente avec une suggestion formulée par Siéroff et Auclair (2002) et la dominance droite pour le mécanisme de désélection serait aussi cohérent, comme nous l'avons évoqué, avec les données de Wilkinson et ses collègues (2001).

Dans un article de synthèse sur l'attention et la dissymétrie hémisphérique, Siéroff et Auclair (2002) estiment que, bien que globalement pertinente, la dichotomie global/local ne rend pas compte à elle seule de tous les phénomènes de latéralisation hémisphérique en œuvre dans le traitement de scènes visuelles complexes. Ils estiment que l'HG pourrait intervenir dans la sélection et/ou le maintien de l'attention sur un niveau de l'information spatiale, mais il est possible que l'HD « permette de se désengager d'un niveau pour activer un autre niveau » (Siéroff & Auclair, 2002 page 361). Ces auteurs reconnaissent qu'il y a pour l'instant peu d'arguments pour appuyer cette idée, mais notre travail pourrait contribuer à traiter ce point.

Pour tester l'hypothèse d'une implication particulièrement forte de l'HD dans la désélection des mécanismes liés à un niveau de traitement devenu non pertinent, il faut aussi trouver un moyen pour faire varier, au moins en partie séparément, le mécanisme de désélection. Pour étudier l'ensemble du processus de changement de niveau, nous comparerons, les cas où la cible se situe au même niveau que dans l'item précédent et les cas où ce niveau change. L'ensemble de ce processus implique la désélection du mode de traitement inapproprié et le passage lui-même. Pour étudier l'opération de désélection elle-même, nous proposons d'en faire varier la difficulté. Des recherches ont montré que l'augmentation du nombre de répétitions d'items traités à un même niveau avant le changement accentue le coût dû à ce changement. Lamb et al. (1998) signalaient déjà que, dans leurs expériences, l'augmentation du nombre de répétitions de traitement à un même niveau améliorait le traitement de la cible dans un stimulus hiérarchisé, s'il n'y avait pas de changement de niveau. Wilkinson et ses collègues. (2001) ont étudié l'influence de ce facteur en cas de changement de niveau dans une étude conduite en IRMf. Ils montrent que le *switch* entre niveaux implique différemment certaines aires cérébrales, selon la difficulté induite par le contexte sur la réalisation de cette opération. Ils font varier entre 2, 4 et 6 le nombre de répétitions d'items portant la cible à un même

niveau avant le *switch*. L'augmentation des répétitions accentue la difficulté du *switch*, dans la mesure où elle s'accompagne d'un allongement significatif des temps de réponse entre les conditions 2 répétitions et 4 répétitions, sans toutefois d'accentuation de l'effet entre 2 répétitions. Comparé au *switch* effectué après 4 ou 6 répétitions, le *switch* réalisé après 2 répétitions s'accompagne d'activations bilatérales du cortex pariétal médian. Ces auteurs ne retrouvent pas ici la spécialisation gauche du cortex pariétal médian mise en lien par Fink et ses collègues (1997b) avec l'augmentation du nombre de changements dans la liste. Aussi, le mécanisme particulièrement important dans la mesure effectuée par Wilkinson et ses collègues (2001) n'est peut-être pas directement le passage d'un niveau à l'autre, mais la nécessaire inhibition des mécanismes associés au niveau devenu non pertinent, et permettant de s'en désengager : si la désélection de ces mécanismes est rendue difficile par le poids des répétitions dans le contexte préalable, il semble que les compétences de cette région du lobe pariétal dans l'HD soit déterminante.

Il nous semble que l'accentuation de l'engagement préalable dans un niveau produit par de nombreuses répétitions avant le changement est surtout propre à rendre le désengagement particulièrement difficile. Aussi, notre recherche vise à répliquer l'effet négatif du nombre de répétitions avant un changement en recueillant pour cela des données comportementales ; elle vise aussi à tester l'hypothèse d'un avantage de l'HD ce désengagement. Dans cette logique, nous formulons l'hypothèse selon laquelle l'effet de l'augmentation du nombre de répétitions avant le changement de niveau aura un effet moins négatif pour les stimuli présentés en CVG-HD que pour les stimuli présentés en CVD-HG. De même, un avantage de l'HD pour l'opération de désélection, impliquant un mécanisme d'inhibition du niveau de traitement préalable pourrait aussi se traduire par des performances significativement meilleures en CVG-HD qu'en CVD-HG dans les situations où la désélection est rendue particulièrement difficile par le grand nombre de répétitions de traitement préalable à l'autre niveau.

3. Traitement des niveaux global et local chez l'adulte et spécialisation hémisphérique

L'idée selon laquelle les deux hémisphères cérébraux diffèrent quant aux fonctions psychologiques qu'ils assurent est ancienne. Pourtant, la façon dont cette asymétrie est conçue a évolué. Bien que cette conception semble remonter à la Grèce antique, ce sont des observations cliniques du XIX^{ème} siècle, celles de Broca, Dax et Wernicke, qui lui ont conféré une place importante pour l'étude des fonctions cérébrales. Ces premières données ont essentiellement contribué à reconnaître un rôle crucial de l'HG dans la production et la compréhension du langage. Elles sont aussi à l'origine de l'idée d'une dominance générale de l'HG, l'HD étant supposé n'assurer alors qu'un rôle secondaire.

A la même époque, Jackson (1874) a décrit des patients souffrant d'une « perte ou d'un déficit pour le souvenir des personnes, des objets, des endroits », associée à des détériorations de l'HD. Ces travaux remettent en question la notion de dominance générale de l'HG et tracent la voie d'une conception basée sur l'idée de spécialisations

hémisphériques pour certains mécanismes cognitifs et donc l'idée de complémentarité des hémisphères cérébraux.

Du point de vue anatomique, Jackson a remarqué un développement plus précoce du lobe frontal gauche que du lobe frontal droit, les lobes postérieurs se développant quant à eux plus tôt dans l'HD que dans l'HG. Selon ses observations, les fonctions psychologiques latéralisées dans l'HG seraient essentiellement associées au lobe frontal, qui justement se développe plus tôt dans l'HG, alors que les fonctions perceptives qu'il attribuait à l'HD seraient associées à des régions cérébrales plus postérieures, elles aussi en place plus précocement dans cet hémisphère. Par suite, il a considéré que la partie importante de l'HG était le lobe antérieur, alors que la partie importante de l'HD était le lobe postérieur (Jackson, 1874). Cet ensemble d'observations a donné lieu à la conception très générale selon laquelle l'HG contrôlerait le langage, alors que l'HD serait responsable de la perception visuo-spatiale. Cette distinction fondamentale a ensuite été confortée par des arguments tel que celui de Posner (1990, cité par Siéroff et Auclair, 2002), qui fait remarquer la plus grande facilité à effectuer en même temps des tâches visuo-spatiales et verbales, plutôt que deux tâches relevant d'une seule de ces grandes fonctions.

Bien que cela reste vrai dans les grandes lignes, il s'agit d'une vision trop simplifiée, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, certaines structures de l'HD sont aussi capables de participer à certains aspects de traitements langagiers et l'HG est, quant à lui, impliqué dans certains traitements visuo-spatiaux assez sophistiqués. De plus, s'il est vrai que le caractère surtout verbal ou spatial des informations est déterminant pour l'implication de mécanismes cérébraux latéralisés pour le langage, d'une part, pour les traitements visuo-spatiaux, d'autre part, il semble que l'implication de ces mécanismes latéralisés dépende aussi fortement de deux paramètres : 1/ le fait que le traitement engagé nécessite de l'attention semble important dans la mise en jeu de mécanismes latéralisés pour le langage ou pour l'espace ; 2/ en dépit du contenu manifestement linguistique ou spatial du matériel, le fait que la tâche demande explicitement (ou oriente vers) l'aspect spatial ou linguistique des stimuli est souvent déterminant pour faire apparaître des effets de dominance hémisphérique liée au contenu du matériel.

Dans la présentation, non exhaustive, que nous proposons autour de la question des dominances hémisphériques dans les domaines verbal et spatial, nous nous efforcerons de faire ressortir ces derniers points, tant pour les études chez l'adulte (dans la partie qui suit) que chez l'enfant (partie 4 du chapitre 2).

3.1. Spécialisation hémisphérique gauche pour le langage : les limites

Les apports des études conduites auprès de patients *split-brain* peuvent être cités pour illustrer les nuances concernant la latéralisation hémisphérique pour les traitements langagiers. La section chirurgicale du corps calleux est parfois pratiquée en cas d'épilepsie rebelle au traitement pharmacologique. Les hémisphères sont alors isolés au niveau cortical, bien que les connexions sous-corticales restent intactes. Outre les bénéfices cliniques, cette procédure offre la possibilité d'étudier chaque hémisphère de manière isolée, l'information présentée à l'un des hémisphères étant non disponible pour

l'autre hémisphère. L'interprétation des performances de tels patients pose tout de même, comme toute méthode, quelques problèmes, surtout si la section du corps calleux a été motivée par d'importantes crises épileptiques, elles-mêmes sources de dommages cérébraux accompagnés parfois de phénomènes de réorganisation.

Les premières études systématiques auprès de tels patients dans les années 60' ont confirmé la dominance de l'HG pour le contrôle de la parole. Les patients s'avèrent en effet incapables de décrire verbalement un objet présenté dans le CVG-HD (Gazzaniga, Bogen, & Sperry, 1995a ; Gazzaniga, Bogen, & Sperry, 1996b, cités par Corballis, 2003), mais le font sans difficulté pour un objet présenté dans le CVD-HG. L'HD est capable de traiter le stimulus, puisqu'en utilisant la main gauche (dirigée par l'HD) les patients peuvent sélectionner le stimulus parmi un ensemble, mais ils présentent des difficultés pour lui appliquer un traitement verbal. Toutefois, au-delà de ces difficultés, l'HD isolé s'avère tout de même capable de comprendre des mots écrits ou de suivre une instruction verbale simple. En fait, si l'HG des patients split-brain est capable aussi bien de produire que de comprendre tous les aspects du langage, l'HD peut quant à lui comprendre le sens de certains mots mais démontre peu d'aptitude pour la grammaire et la syntaxe (Gazzaniga, 2000).

Des expériences réalisées auprès de sujets sains droitiers, en utilisant la technique de présentation rapide de stimuli en champ visuel divisé, apportent des données en accord avec de telles conclusions. La dominance fonctionnelle de l'HG pour le langage est surtout nette dans les épreuves de lecture à haute voix et de production (Young & Ellis, 1985), mais l'est moins pour les décisions lexicales ou sémantiques (Beaumont, 1982 ; Chiarello, 1988), ou encore pour la reconnaissance de mots présentés sous des formes graphiques peu familières (par exemple en AITeRnAnCe) (Deason & Marsolek, 2005). De plus, des expériences d'amorçage proposant des couples de mots liés sémantiquement de manière plus ou moins directe montrent que l'HD est particulièrement sensible à des liens sémantiques indirects, de type métaphorique (pour une revue, voir Kiefer, & al., 1998), ce qui suggère qu'il participerait à la compréhension du discours par de larges activations de champs sémantiques à partir d'un mot perçu. De même, l'HD serait efficace pour le traitement de mots dotés d'un fort degré d'imageabilité (Querné, & Faure, 1996). Des structures cérébrales de l'HD contribueraient donc à certains traitements langagiers et les hémisphères peuvent donc pour cela être assez complémentaires (Gazzaniga, 2000).

Pour ce qui est du rôle des demandes attentionnelles de la tâche pour que la spécialisation hémisphérique gauche associée au langage se manifeste, nous nous appuyons sur une idée développée par Siéroff et Auclair (2002) et déjà évoquée en 1970 par Kinsbourne. Ils font tout d'abord remarquer que l'activité frontale gauche et pariéto-temporale gauche jouent des rôles complémentaires sur le plan attentionnel : elles sont par exemple enregistrées dans des tâches d'évocation de verbe à partir d'un nom (dire « taper » à partir du stimulus « marteau ») (Petersen, Fox, Snyder, & Raichle, 1990 ; Snyder, Abdullaev, Posner, & Raichle, 1995). Surtout, des données en TEP montrent que cette activité diminue au profit d'une augmentation d'activation de la région insulaire gauche après une certaine pratique ayant rendu la tâche plus automatique (Raichle & al., 1994). La forte implication de régions spécialisées dans le langage et latéralisées dans

l'HG est donc influencée par les demandes attentionnelles de l'épreuve. Il semble que ce soit surtout la nécessité de maintenir l'attention soit sur des cibles linguistiques, soit sur des cibles spatiales, qui permette aux spécialisations opposées des hémisphères gauche et droit pour le langage et pour l'espace de s'exprimer le plus clairement. Dans une perspective accordant elle aussi un rôle central à l'attention dans l'émergence de phénomènes de dominance hémisphérique, Querné, Eustache et Faure (2000) montrent aussi que l'accès aux représentations des mots dans le lexique à partir de l'HD peut être amélioré en jouant sur des mécanismes d'activation et d'inhibition permettant d'augmenter, par des influences de haut niveau, les capacités de traitement lexical de l'un ou l'autre hémisphère. Pour prendre des exemples dans le domaine de la pathologie, il apparaît aussi que les lésions frontales droites s'accompagnent surtout de difficultés à maintenir l'attention sur des tâches visuo-spatiales (Koski & Petrides, 2001) ; il est cependant plus difficile d'observer des difficultés à soutenir l'attention pour détecter des lettres en cas de lésions frontales gauches (Rueckert & Grafman, 1996).

Si des perturbations relativement faibles pour traiter des lettres sont observées en cas de lésion frontale gauche, cela peut venir des faibles demandes de la tâche en termes linguistiques. Zaidel (1986) décrit ainsi un continuum entre des tâches verbales reposant quasi exclusivement sur l'HG, et d'autres, imposant moins impérativement des demandes linguistiques et pouvant éventuellement impliquer les deux hémisphères. Cela conduit à adopter une perspective assez nuancée par rapport aux deux conceptions proposées pour interpréter les effets de dominance hémisphérique dans les expériences de présentation tachistoscopique en champ visuel divisé. Cette technique consiste à présenter pendant moins de 200 ms un stimulus visuel dans l'un des hémichamps (gauche ou droit), alors que le participant fixe un point central sur l'écran. Compte tenu de l'organisation anatomo-fonctionnelle principalement croisée des systèmes sensoriels visuels, l'information présentée d'un côté est projetée directement à l'hémisphère controlatéral et la comparaison des performances pour les stimuli présentés en champ visuel gauche – hémisphère droit (CVG-HD) et en champ visuel droit – hémisphère gauche (CVD-HG) permet des inférences quant aux différences fonctionnelles entre les hémisphères (Eustache & Faure, 2000 ; Hellige, 1996). Selon le modèle structural, de moins bonnes performances observées dans un champ visuel témoigneraient du fait que l'hémisphère controlatéral est inapte au traitement demandé sur le stimulus présenté : l'allongement du temps de réponse et l'amointrissement de l'exactitude reflèteraient le coût dû au transfert calleux pour adresser l'information au seul hémisphère compétent, qui présenterait une spécialisation exclusive. Selon le modèle de l'efficacité relative, les hémisphères ne présenteraient au contraire que des différences de degré d'efficacité pour un mécanisme ; une moins bonne performance relevée dans un champ visuel témoignerait simplement de la moindre efficacité de l'hémisphère controlatéral. En parlant d'un continuum entre des tâches verbales, Zaidel réconcilie quelque peu ces deux perspectives : alors que certaines tâches verbales 'à relais calleux' nécessiteraient l'implication de l'HG, d'autres seraient 'à accès direct' et pourraient être exécutées par chaque hémisphère, même si des mécanismes différents sont pour cela utilisés. Ainsi, il se peut que les tâches proposées aux patients atteints de lésions gauches aient surtout été de type 'à accès direct', avec des demandes linguistiques non impératives (c'est le cas de l'épreuve proposée par Rueckert & Grafman, 1996) et que cela explique les

difficultés à observer un déficit de soutien de l'attention sur le traitement des lettres chez ces patients.

Ainsi, la seule présentation d'un matériel linguistique n'assure pas de la nature du traitement opéré et ne permet de présager seule de l'implication respective des hémisphères cérébraux. Malgré la nature alphabétique des stimuli, il semble difficile d'obtenir des indices de dominance hémisphérique gauche pour le traitement de lettres si la tâche ne requiert pas le traitement de leur aspect linguistique et si elle peut s'effectuer plus simplement en termes spatiaux. Le travail de Niederbuhl et Springer (1979) est assez révélateur à ce sujet. Ils demandaient à des participants adultes sans pathologie de décider si les lettres présentées faisaient partie d'un ensemble de lettres cibles : ils ont montré un important effet de la consigne (se baser sur la forme des stimuli comme s'il s'agissait de dessins ou se fonder sur leur nom) sur l'asymétrie hémisphérique observée dans cette épreuve. Ce point sera davantage développé dans la partie 4 du chapitre 2, où il sera précisément question de la spécialisation hémisphérique pour le traitement des lettres chez l'adulte et l'enfant.

3.2. Spécialisation hémisphérique droite pour les traitements visuo-spatiaux : les limites

3.2.1. L'hémisphère droit comme 'interprète' des aspects spatiaux de la vision

Les premières études sur les patients split-brain ont confirmé la supériorité de l'HD pour les traitements visuo-spatiaux : bien que droitiers, ce tels patients copient mieux des ensembles de lignes en utilisant leur main gauche, pourtant non dominante. Les capacités visuo-spatiales de l'HD seraient donc plus élaborées. De même, des études de cas montrent que les détériorations de l'HD produisent des déficits dans les tâches visuo-spatiales (Warrington & Taylor, 1973).

Des études récentes utilisant la présentation visuelle tachistoscopique latéralisée ont confirmé la supériorité de l'HD dans beaucoup de tâches visuelles, par exemple pour détecter si deux images sont identiques ou en miroir (Funnell, & al., 1999), pour faire une discrimination spatiale subtile (Bogen & Gazzaniga, 1965 ; Gazzaniga, 1970, cités par Funnell, & al., 1999), pour détecter de petites différences d'orientation de lignes ou des décalages de lignes (vernier offset) (Corballis, Funnell, & Gazzaniga, 2002), pour opérer les transformations spatiales permettant de reconnaître les objets orientés de manière inhabituelle (Warrington & Taylor, 1978) ou pour maintenir l'attention sur des informations spatiales simples et rares (Coull, Frackowiak, & Frith, 1998). Nous verrons aussi que le maintien de l'attention sur un niveau particulier (qu'il soit global ou local) dans une série de stimuli hiérarchisés s'accompagne de l'activation d'un réseau impliquant la région temporo-pariétale de façon bilatérale et des régions frontales droites (Fink, & al., 1996, 1997).

Selon Funnell et ses collègues (1999), les deux hémisphères présenteraient les mêmes capacités de reconnaissance de forme, mais diffèreraient quant à leur aptitude à

représenter les relations spatiales entre les éléments d'une scène visuelle. Dans une recherche proposant à des patients split-brain de traiter un même matériel soit dans une tâche de comparaison spatiale, soit dans une tâche de comparaison d'identité, Corballis, Funnell, et Gazzaniga (1999) ont testé cette hypothèse directement : pour l'appariement d'identité, les deux hémisphères manifestent les mêmes performances, mais dans la tâche d'appariement spatial, l'HD s'avère supérieur. Pour reprendre les termes de Corballis (2003), l'HD pourrait être vu comme un interprète spécialisé dans la résolution des ambiguïtés relevant des aspects spatiaux de la vision.

3.2.2. Complémentarité des hémisphères pour certains traitements visuo-spatiaux

Il semble que certaines fonctions visuo-spatiales soient cependant représentées de façon bilatérale. Selon Corballis (1991, cité par Funnell, & al., 1999), ce serait le cas de processus perceptifs de base dont les supports neuroanatomiques, sous les pressions de l'évolution, seraient devenus symétriques. Plutôt que de considérer l'HD comme globalement spécialisé dans le domaine visuo-spatial, les asymétries hémisphériques observées dans ce domaine reflèteraient la tendance de chaque hémisphère à traiter certains aspects spatiaux particuliers du stimulus visuel. Les contributions de chaque hémisphère permettraient alors l'excellence de la perception finale.

Deux types de traitements visuo-spatiaux ont ainsi été décrits comme reposant sur des mécanismes complémentaires, sous-tendus par des aires latéralisées de façon opposée dans les hémisphères cérébraux : les traitements global/local, sur lesquels nous reviendrons plus précisément dans la partie 3.3, et les traitements portant sur les relations spatiales catégorielles et coordonnées. Ce dernier type de traitement n'est pas l'objet de notre thèse, nous en dirons simplement quelques mots pour souligner que d'autres aspects des traitements visuo-spatiaux peuvent aussi se baser sur la coopération des hémisphères dont les compétences sont distribuées de façon opposée.

L'encodage des propriétés spatiales d'un stimulus serait sous-tendu par un ensemble de sous-systèmes de traitement réunis sous le nom de système du '*Where*', et impliquant des aires cérébrales de la voie occipito-pariétale. Le système pariétal serait lui-même composé de deux sous-systèmes traitant deux types de relations spatiales, les unes catégorielles (localisation de l'objet qualifiable, catégorisable, par des termes tels que 'au-dessus', 'au-dessous', 'à gauche', 'à droite'...), les autres coordonnées (plus précises et exprimables en termes métriques) (Koenig, Reiss, & Kosslyn, 1990 ; Kosslyn, Chabris, Marsolek, & Koenig, 1992). Selon des observations cliniques, le gyrus angulaire droit (BM 39) jouerait un rôle important dans le traitement de l'information spatiale coordonnée ; une lésion de la région analogue dans l'HG produit en revanche des difficultés à distinguer la gauche de la droite, compétence relevant des traitements catégoriels. L'asymétrie hémisphérique complémentaire pour ces deux mécanismes a été confortée par des données comportementales recueillies avec le paradigme de présentation en champ visuel divisé, en utilisant une tâche proposant d'opérer deux types de jugements sur un même matériel (un point situé au-dessous ou au-dessus d'une barre) : décider si le point est dessus ou dessous implique un traitement spatial catégoriel mieux réalisé en CVD-HG, alors que décider s'il est à plus ou moins 3 millimètre de la barre, par exemple,

implique un traitement spatial coordonné pour lequel les performances sont meilleures en CVG-HD (Kosslyn, 1987 ; Kosslyn, Koenig, Barrett, Cave, Tang, & Gabrieli, 1989). De telles données ont été répliquées par Hellige et Michimata (1998), puis en IRMf (Baciu, Koenig, Vernier, Bedoin, Rubin, & Segebarth, 1999), où il a en outre été confirmé que l'implication du gyrus angulaire droit pour les traitements spatiaux coordonnés pouvait décroître au cours de l'épreuve, donc avec la pratique (Kosslyn, & al., 1989). Ce dernier point suggère, ici encore, que la manifestation de dominances hémisphériques pour certains mécanismes cognitifs est très sensible à des facteurs de haut niveau, tels que, sans doute, la réduction des ressources attentionnelles, moins nécessaire au fil de cette tâche.

Dans leur ensemble, ces résultats témoignent surtout du fait qu'une partie importante des traitements visuo-spatiaux, celle destinée à évaluer des relations spatiales, n'est pas l'exclusivité de l'HD.

3.3. Particularité de la spécialisation hémisphérique pour les traitements global/local

L'asymétrie hémisphérique est un des aspects les plus classiquement associés à l'opposition global/local. Des observations neuropsychologiques ont en effet permis de décrire une dominance de l'HD pour le traitement global et une dominance de l'HG pour le traitement local. Après un rappel des principales données à ce sujet, nous évoquerons les hypothèses d'explication proposées pour rendre compte de cette asymétrie dans des traitements visuo-spatiaux. Enfin, nous parlerons de ses limites, et exposerons les hypothèses actuelles sur l'origine de ces dernières. Au final, notre hypothèse portera sur le rôle des connaissances orthographiques et des connaissances sur les objets en tant que modulateurs de cette asymétrie pour les traitements global et local.

3.3.1. Données témoignant d'une asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local

3.3.1.1. ARGUMENTS NEUROPSYCHOLOGIQUES

Plusieurs observations rapportent que, lorsque des patients atteints d'une lésion unilatérale gauche doivent reproduire de mémoire une lettre hiérarchisée, ils n'en dessinent que la forme globale, alors que des patients atteints d'une lésion unilatérale droite n'en restituent correctement que les détails avec un manque de cohésion de l'ensemble (Delis, Robertson, & Efron, 1986). Ces derniers auteurs montrent également que, dans des tâches de reconnaissance d'un stimulus hiérarchisé (e. g., un grand M fait de petits Z) parmi quatre alternatives, les erreurs commises par les patients atteints de lésions droites consistent le plus souvent à désigner celle qui contient la même information que la cible seulement au niveau local, alors que les erreurs des patients atteints de lésions gauches consistent surtout à désigner une lettre hiérarchisée correcte seulement au niveau global. Des expériences de discrimination de cible imposant des réponses rapides apportent des résultats tout à fait concordants. Les lésions de régions

temporo-pariétales gauches s'accompagnent ainsi d'une accentuation de l'avantage du niveau global, alors que celles qui surviennent dans des régions analogues dans l'HD peuvent s'accompagner d'une inversion de cet effet classique, laissant parfois place à un avantage du niveau local, dans des tâches d'attention focalisée à un niveau comme dans des épreuves d'attention divisée (Lamb, Robertson, & Knight, 1990 ; Robertson, Lamb, & Knight, 1988). Par ailleurs, l'observation des performances de patients split-brain (plus efficaces avec la main gauche pour dessiner de mémoire la forme globale, et meilleurs avec la droite pour les détails) va aussi dans le sens de cette asymétrie hémisphérique (Delis, Kramer, & Kiefner, 1988). Enfin, à partir d'une expérience d'attention focalisée à l'un ou l'autre niveau selon le bloc, conduite auprès de 92 patients avec suppression d'une partie importante (mais unilatérale) du lobe temporal ou frontal, Doyon et Milner (1991) ont montré que les patients atteints de lésions temporales droites se caractérisent par une moindre sensibilité à l'interférence issue du niveau global. Dans leur ensemble, ces données neuropsychologiques suggèrent donc que l'HG prend davantage en charge la perception des détails, les régions analogues dans l'HD se chargeant de l'aspect global (pour une revue, voir Robertson & Lamb, 1991).

Au-delà de ces différences gauche-droite, il reste à préciser la localisation des régions cérébrales pour lesquelles cette asymétrie hémisphérique s'exprime lors de traitements global/local. Ce n'est pas le cas de toutes les aires cérébrales participant à ces traitements. Par exemple, des lésions latéralisées dans les aires pré-frontales ne produisent pas de changements différenciés pour les traitements global et local (Robertson, Lamb, & Knight, 1991). A partir des études conduites auprès de patients, un consensus se dégage tout d'abord au sujet des régions temporales, dont les lésions latéralisées se traduisent par des déficits spécifiques à l'un ou l'autre niveau. Ces études précisent que la région temporo-pariétale est particulièrement concernée par cette asymétrie. Dans une synthèse sur le sujet, Rafal et Robertson (1995) écrivent en effet que les lésions pariétales latéralisées ne produisent de tels changements que si la lésion s'étend dans la région temporo-pariétale. Nous verrons cependant que les techniques d'imagerie cérébrale révèlent que des régions sous-tendant des aspects plus précoces des traitements visuels peuvent aussi s'activer différemment dans chaque hémisphère, selon le niveau sélectionné dans un stimulus contenant des informations hiérarchisées.

3.3.1.2. ETUDES EN CHAMP VISUEL DIVISÉ

La présentation rapide de stimuli hiérarchisés dans le champ visuel gauche ou droit donne des indications sur la dominance hémisphérique pour certains traitements, chez des sujets sans pathologie et de manière non invasive. Plusieurs études conduites selon ce principe sont parvenues à conforter l'hypothèse de spécialisations hémisphériques opposées pour les niveaux global et local.

Sergent (1982a) a notamment utilisé pour cela cette technique avec succès. Elle interprète ses données en disant que les fréquences spatiales basses (généralement majoritaires pour les formes globales) sont mieux représentées dans l'HD et les fréquences spatiales élevées (importantes pour représenter les détails) dans l'HG, ce qui expliquerait le traitement plus efficace des cibles globales en CVG-HD et celui des cibles locales en CVD-HG. Sa réflexion l'a ensuite conduite à estimer que ces effets sont

ultérieurs à une étape de traitement sensible à l'information directement issue des canaux spécialisés pour les fréquences hautes ou basses (Sergent, 1987).

Toujours avec la technique de présentation en champ visuel divisé, d'autres recherches ont répliqué ces effets en utilisant, comme Sergent, le paradigme d'attention divisée entre les niveaux. C'est par exemple le cas de Versace et Tiberghien (1988) avec des stimuli de catégories variées, mais aussi de Blanca, Zalabardo, Garcia-Criado et Siles (1994) qui obtiennent les mêmes effets cette fois sur l'exactitude des réponses, à condition que les stimuli soient présentés très rapidement. L'asymétrie hémisphérique n'est observée, dans cette dernière recherche, qu'avec un temps de présentation de 50 ms (qui assure le caractère extra-fovéal de la présentation), et n'est plus significative avec des délais de 100 ou 200 ms. Hübner et ses collègues ont aussi obtenu les effets attendus selon le niveau et le champ visuel de présentation en mesurant les temps de réponse dans une épreuve avec attention divisée entre les niveaux ; ils répliquent aussi ce résultat dans une tâche de jugement de similitude (*'same-different'*) entre un stimulus hiérarchisé central et un stimulus hiérarchisé apparaissant seulement 67 ms dans le champ visuel gauche ou droit (Hübner, 1997 ; Hübner, Volberg, & Studer, 2006).

Kimchi et Merhav (1991) observent eux aussi l'effet d'asymétrie hémisphérique pour les traitements global et local dans, cette fois, une expérience avec attention focalisée à un niveau spécifié à l'avance dans chaque bloc. De même, en présentant leurs stimuli au centre, à gauche ou à droite, Martinez, Moses, Frank, Buston, Wong et Stiles (1997) recueillent aussi, dans des épreuves d'attention focalisée, des réponses plus rapides dans le CVG-HD en cas de sélection globale plutôt que locale. Notons qu'il n'obtiennent pas l'effet inverse du niveau sélectionné dans le CVD-HG. Toutefois, pour la condition d'attention focalisée au niveau local, les participants sont plus rapides en CVD-HG qu'en CVG-HD, ce qui va dans le sens de l'asymétrie hémisphérique classique pour les niveaux. Ainsi, même si l'interaction entre le champ visuel et le niveau n'est parfois explicable qu'en adoptant ces deux perspectives de description différentes (mais complémentaires), l'ensemble des données de Martinez et de ses collègues est conforme à la latéralisation hémisphérique classique pour les traitements global et local.

Au final, ces données montrent que la technique de présentation en champ visuel divisé permet parfois de relever des indices d'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local, ceci dans des situations expérimentales variées. Une méta-analyse effectuée par Van Kleeck (1989) et combinant les résultats de plusieurs études l'illustre bien : les données de chaque expérience n'atteignent pas toujours le seuil de significativité, sans doute à cause d'une variété de problèmes méthodologiques liés à la faible qualité visuelle de stimuli présentés trop rapidement en vision périphérique (Brown & Kosslyn, 1994) ou à la longueur des listes induisant des effets de pratique ou de fatigue, mais elles vont toutes suffisamment dans le sens attendu pour témoigner, dans leur ensemble, d'une asymétrie hémisphérique liée à l'opposition global et local. Il apparaît toutefois que les expériences dans lesquelles la cible apparaît à l'un ou l'autre niveau, sans que celui-ci puisse être prédit (paradigme d'attention divisée), sont les plus efficaces pour faire ressortir cette asymétrie hémisphérique. Nous reviendrons sur ce point dans l'exposé des limites de l'observation de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global et local (partie 3.3.3.2.) et nous montrerons aussi que la présentation

en champ visuel divisé n'est pas toujours favorable à l'observation de l'asymétrie ici étudiée.

3.3.1.3. ETUDES EN IMAGERIE CÉRÉBRALE ET EN POTENTIELS ÉVOQUÉS

Une série d'expériences en TEP a permis à Fink et son équipe de décrire une corrélation entre une augmentation de l'activation dans des régions de l'HG et l'identification d'éléments au niveau local, alors qu'une augmentation de l'activation dans des régions de l'HD correspond à l'identification de la forme globale de stimuli hiérarchisés. Ils ont obtenu cette asymétrie classique des activations hémisphériques latéralisées dans une épreuve d'attention focalisée. Plus précisément, la sélection volontaire du niveau global s'accompagne d'une activation significative du gyrus lingual droit, alors que la sélection du niveau local s'accompagne d'une activation du cortex occipital inférieur gauche (Fink & al., 1996 ; 1997b). Toutefois, il ne s'agit pas là des seules régions impliquées dans cette situation expérimentale : le maintien de l'attention à un niveau particulier s'accompagne, dans leurs expériences, de l'activation d'un réseau impliquant la région temporo-pariétale de manière bilatérale et des régions frontales droites (cortex orbito-frontal droit, cortex pré-frontal dorso-latéral droit), quel que soit le niveau sélectionné.

La précision importante apportée par ces travaux en TEP est que l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local peut se manifester dans des régions corticales sous-tendant des traitements visuels d'assez bas niveau. La focalisation attentionnelle sur un niveau d'analyse modifie donc certains traitements visuels précoces, et ceci de façon différenciée selon le niveau (cortex visuel extra-strié). Cela concorde avec de récentes données en psychophysique (manipulation de configurations RF – '*Radial Frequency*') montrant que les informations globale et locale peuvent être détectées très vite de manière indépendante dans le système visuel humain (Bell, Badcock, Wilson, & Wilkinson, 2007). Comme les travaux réalisés en TEP, plusieurs recherches conduites en IRMf à partir d'expériences avec attention focalisée à des niveaux distincts montrent une asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local dans des régions sous-tendant des traitements visuels précoces. Des activations plus marquées pour le traitement global plutôt que local ont ainsi été observées dans le cortex occipital médian droit et une augmentation des activations dans le cortex occipital inférieur gauche est induite par le traitement local, avec des stimuli présentés de façon centrale (Han, Weaver, Murray, Kang, Yund, & Woods, 2002).

Cette précocité de la latéralisation dans le décours temporel des traitements visuels est également confortée par des données en potentiels évoqués. Alors que Heinze et Münte (1993) relevaient des indices électrophysiologiques de la latéralisation pour les traitements global/local à partir d'électrodes situées au niveau de l'aire temporale postérieure, cette latéralisation a aussi été observée dans des aires cérébrales sous-tendant des traitements visuels de niveau encore plus élémentaire. La localisation de l'origine des ondes mesurées n'est certes pas très précise avec cette technique, mais il s'avère que des corrélats électrophysiologiques d'une différence entre niveaux global et local sont relevés non seulement pour des ondes négatives relativement tardives correspondant à la région occipito-temporale (Proverbio et al., 1998), mais aussi pour l'onde P1, plus précoce (entre 80 et 120 ms après la stimulation sensorielle), dans les

régions extra-striées (Evans, Shedden, Hevenor, & Hahn, 2000), avec une latéralisation différente selon le niveau indépendamment des fréquences spatiales en présence (Grabowska & Nowicka, 1996).

Pour des régions cérébrales un peu plus antérieures, mais impliquant tout de même les lobes occipitaux, d'autres auteurs avaient précédemment montré, avec la même technique, des activations latéralisées de façon opposée selon le niveau sélectionné. Martinez, Moses, Frank, Buxton, Wong et Stiles (1997) ont en effet réalisé des expériences d'attention focalisée à un niveau sur des stimuli hiérarchisés présentés de façon centrale, en CVG ou en CVD. Ils ont choisi de concentrer leurs investigations sur le rôle de régions occipito-temporales (incluant les gyri fusiformes et le cortex temporal inférieur), connues pour leur implication dans la reconnaissance de formes, d'objets et de visages. Ils ont observé, dans ces régions, des activations cérébrales qui reproduisent l'asymétrie hémisphérique classique en fonction du niveau sélectionné : si l'attention est focalisée au niveau local, elles sont significativement atténuées dans l'HD, alors que les activations dans l'HG, présentes pour la focalisation sur l'un comme sur l'autre niveau, ont tout de même tendance à être plus fortes pour la focalisation au niveau local.

La latéralisation hémisphérique pour les traitements global et local dans ces régions incluant les lobes temporaux pourrait être assez spécifique à l'homme. Notons qu'une étude en TEP chez des macaques a montré des activations différenciées pour la discrimination de cibles à l'un ou l'autre niveau. Toutefois, cette différence ne se traduit pas par l'opposition gauche-droite des activations, mais par une opposition sur l'axe antérieur-postérieur du cortex temporal inférieur : le traitement global se caractérise par des activations dans la partie postérieure du cortex temporal inférieur, alors que le traitement local s'accompagne d'activations dans la partie antérieure de cette même région (Tanaka, Onoe, Tsukada, & Fujita, 2001). De plus, pour la partie antérieure du cortex temporal inférieur, une certaine latéralisation gauche-droite des activations est relevée selon le niveau d'analyse, mais elle est opposée à celle observée chez l'homme : l'HD, et non le gauche, est en effet plus activé pour le traitement local que pour le traitement global. Ainsi, la dominance de l'HG décrite pour le traitement visuel local chez l'homme ne s'applique pas au macaque.

Pour revenir aux activations accompagnant, chez l'homme, les traitements global/local, les techniques d'imagerie cérébrale montrent que toutes ne sont pas latéralisées, tout comme l'observation de patients l'avait déjà montré en neuropsychologie. Martinez et al. (1997) ont notamment relevé des activations en régions occipito-pariétale, (près du sillon intra-pariétal), qui contrairement aux activations occipito-temporales, celles-ci ne diffèrent pas entre les hémisphères en fonction du niveau d'analyse sélectionné : elles sont plus fortes dans l'HD que dans l'HG quel que soit le niveau. Tout en participant au traitement visuel global/ local, certaines régions sous-tendent apparemment des traitements d'assez haut niveau, qui ne sont plus latéralisés en fonction du niveau d'analyse choisi, mais pourraient l'être simplement parce qu'il s'agit de traitements visuo-spatiaux pour lesquels l'HD est de manière générale souvent fortement impliqué.

Il reste donc à expliquer les liens entretenus par de telles régions, avec celles dont la latéralisation diffère selon le niveau traité. C'est par exemple ce que proposent de faire

Fink et ses collègues, en coordonnant leurs résultats aux idées développées par Robertson et Lamb (1991). Ils écrivent que les processus visuels précoces qui subissent, dans le cortex extra-strié, une modulation latéralisée selon le niveau de traitement, sont vraisemblablement soumis à l'influence d'un système attentionnel impliquant essentiellement des aires temporo-pariétales. Des données en potentiels évoqués corroborent cette contribution du cortex temporo-pariétal au mécanisme attentionnel régulant, de manière descendante, la distribution de ressources et leur maintien pour le traitement des aspects global et local (Yamaguchi, Yamagata, & Kobayashi, 2000). L'observation d'une asymétrie hémisphérique pour le traitement visuel précoce des niveaux global/local n'implique donc pas nécessairement que les régions cérébrales qui les sous-tendent soient fondamentalement structurées pour ne traiter, selon l'hémisphère, que l'un ou l'autre aspect de manière exclusive (comme le prédit la version forte de la théorie structurelle – '*structural theory*'). Elles peuvent plus simplement présenter tendance, selon l'hémisphère, à traiter l'information d'une manière plutôt que d'une autre, particulièrement sous l'impulsion de processus de haut niveau. Ces derniers joueraient un rôle majeur, surtout si la tâche impose de fortes demandes (nécessité de catégoriser ou comparer des stimuli, nécessité de gérer des conflits d'informations ou des réponses concurrentes). Ils exerceraient leur influence en privilégiant les traitements les plus performants, réalisables par des régions cérébrales latéralisées présentant des degrés de compétence différents pour le traitement de chaque niveau et responsables de mécanismes visuels élémentaires. Cette proposition consiste à dire que l'attention peut moduler l'implication de régions cérébrales dont la latéralisation est associée à des compétences plus ou moins développées (mais pas inexistantes) pour le traitement visuel de formes globales ou de détails ('*allocation theory*'). Cette dernière approche a pu être exprimée dans les termes du modèle de la vision de haut niveau proposé par Kosslyn et Koenig (1992) : les régions occipito-temporales, assimilées au sous-système de pré-traitement, pourraient opérer différemment dans l'un et l'autre hémisphère, chacun ayant tendance à privilégier un certain type d'informations ascendantes, mais chacun également sensible à l'impulsion de facteurs descendants, de plus haut niveau, pouvant instaurer des biais poussant à traiter plutôt tel type d'information que tel autre (Brown & Kosslyn, 1992). Dans la partie qui suit, nous proposons justement de présenter les principales hypothèses d'explication de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local.

3.3.2. Principales hypothèses d'explication

3.3.2.1. OPPOSITION ENTRE MODÈLES DIRECTS ET MODÈLES AVEC TRANSFERT CALLEUX

Il existe deux façons d'expliquer l'origine des différences de performances entre les deux hémisphères pour les traitements global/local, dans les expériences en champ visuel divisé.

Dans une version assez radicale de la spécialisation hémisphérique, chaque hémisphère ne prendrait en charge que le mode de traitement pour lequel il a développé une compétence. Aussi, dans le cas où une cible globale serait à traiter dans un stimulus

hiérarchisé présenté dans le CVD, l'information alors plus directement adressée à l'HG ne serait pas traitée dans cet hémisphère mais transmise, grâce à des connexions inter-hémisphériques, vers l'HD seul apte à ce traitement. Le retard pour le traitement global d'une information présenté en CVD plutôt qu'en CVG serait alors lié au délai supplémentaire imposé par l'opération de transfert et, éventuellement, par une certaine dégradation de l'information lors de celui-ci.

Selon une autre perspective, les différences de compétence de l'un et l'autre hémisphères pour les traitements global et local ne sont qu'une question de degré. C'est par exemple le point de vue défendu par Van Kleeck (1989) ou Lamb et Yund (1996). Lorsque l'information présentée de façon latéralisée s'adresse plus directement à l'hémisphère le moins compétent pour le niveau considéré, le transfert inter-hémisphérique permettrait bien sûr de faire en sorte que l'hémisphère le plus adapté participe au traitement, mais l'hémisphère directement sollicité serait quand même en mesure de réaliser le traitement de l'un comme de l'autre niveau. La différence de performances pour le traitement global, par exemple, dans l'un et l'autre hémichamp, serait alors essentiellement due à l'efficacité plus ou moins développée de chaque hémisphère pour réaliser ce traitement. Elle serait également due à autre chose : selon Hübner et Volberg (2005), l'hémisphère auquel l'information est adressée aurait de toute façon tendance à traiter l'information particulièrement bien au niveau qui n'est pourtant pas le plus adapté pour la tâche. Ainsi, dans l'exemple d'un stimulus hiérarchisé présenté en CVD dans une tâche imposant un traitement global, les performances seraient faibles pour deux raisons : l'HG traiterait assez mal l'information globale pour laquelle il est peu compétent et il ne pourrait s'empêcher d'extraire aussi l'information du niveau local, pour lequel il est spécialisé, ce qui introduirait une compétition néfaste à la performance.

3.3.2.2. HYPOTHÈSE DU LIEN ENTRE LES SPÉCIALISATIONS HÉMISPHERIQUES POUR LES TRAITEMENTS GLOBAL/LOCAL ET POUR LES FRÉQUENCES SPATIALES SELON LEUR HAUTEUR

Comme nous l'avons vu, selon l'hypothèse de Sergent (1982a), les supports neuro-anatomiques du traitement des fréquences spatiales hautes et basses se caractériseraient par une spécialisation de l'HD pour les fréquences spatiales basses et une spécialisation de l'HG pour les fréquences spatiales élevées.

Des travaux mesurant des indices comportementaux dans des épreuves en champ visuel divisé appuient cette hypothèse (Kitterle & Selig, 1991 ; Niebauer & Christman, 1999 ; Proverbio, Zani, & Avella, 1997). Un autre argument est que le traitement de stimuli dont la qualité visuelle est dégradée est davantage perturbé si le stimulus est présenté en CVD-HG plutôt qu'en CVG-HD, car cela pourrait témoigner d'une meilleure aptitude de l'HD à se contenter des informations véhiculées par les basses fréquences spatiales (généralement mieux préservées par ces dégradations) pour traiter l'information visuelle. Cette hypothèse sur la latéralisation pour le traitement des fréquences spatiales selon leur hauteur a été testée indirectement à travers l'évaluation de l'impact de plusieurs types de détérioration du signal sur l'asymétrie hémisphérique (Christman, 1990). En accord avec cette hypothèse, l'auteur montre, dans cet article, que la diminution de luminance améliore le traitement des stimuli par l'HD (Expérience 1) ; estomper le stimulus réduit par

ailleurs les performances plus radicalement pour l'HG (Expérience 2). Pour diminuer la disponibilité des fréquences spatiales élevées, d'autres techniques consistent aussi à augmenter l'excentricité du stimulus par rapport à la rétine, à réduire le temps de présentation ou, plus directement, à éliminer les hautes fréquences spatiales par un traitement informatique du signal. Christman (1990) conclut que les fréquences spatiales en-dessous de 9 cycles par degré seraient plus efficacement traitées par l'HD que par l'HG. Dans une épreuve proposant une situation particulièrement écologique, la manipulation des fréquences spatiales sur des photographies des scènes naturelles à catégoriser a confirmé cette asymétrie hémisphérique pour le traitement des fréquences spatiales selon leur hauteur (Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003).

Sergent (1982a) a, quant à elle, opéré un rapprochement entre cette asymétrie de la spécialisation hémisphérique selon les fréquences spatiales à traiter, d'une part, et la spécialisation de l'HD pour le traitement du niveau global et celle de l'HG pour le niveau local, d'autre part. Essentiellement fondée sur cette analogie, la portée de cette interprétation de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local doit cependant être relativisée. Les canaux de traitement des hautes et des basses fréquences spatiales contribuent certainement au traitement différencié des niveaux global et local, mais cette distinction ne suffit pas à rendre compte du processus de perception de stimuli visuels contenant des informations hiérarchisées.

En effet, il faut tout d'abord relativiser la différence de spécialisation hémisphérique selon la hauteur des fréquences spatiales, car certains auteurs ne l'observent pas systématiquement, que ce soit à travers l'étude des performances de patients cérébro-lésés (Grabowska, Semenza, Denes, & Testa, 1989 ; Spinelli & Zoccolotti, 1992) ou l'analyse de potentiels évoqués, qui a parfois révélé une meilleure sensibilité de l'HD aux fréquences spatiales (élevées ou basses), alors que l'HG serait davantage sensible aux caractéristiques temporelles (Rebaï, Bernard, Lannou, & Jouen, 1998). Il apparaît également que les personnes gauchères ne présenteraient pas cette spécialisation hémisphérique pour le traitement des deux types de fréquences spatiales (Christman, 1989). Il faut aussi reconnaître que les diverses techniques utilisées pour faire varier les fréquences spatiales n'ont pas fourni un ensemble très homogène de résultats par rapport à l'asymétrie hémisphérique (Hellige, 1993). Estomper les stimuli ou les filtrer en ne laissant passer que les basses fréquences spatiales entraîne certes parfois un plus fort déficit pour les stimuli présentés en CVD-HG dans des tâches de traitement de lettres (Jonsson & Hellige, 1986; Sergent, 1989) ou de traitement de visages (Sergent, 1985). Mais ces effets ne sont pas toujours répliqués pour le traitement des lettres (Peterzell, 1991 ; Peterzell, Harvey, & Hardyck, 1989) et surtout lorsque les traitements impliquent des connaissances lexicales (Chiarello, Senehi, & Soulier, 1986 ; Hardyck, 1991).

De plus, il apparaît que cette spécialisation hémisphérique selon les fréquences spatiales ne se manifeste que pour des tâches impliquant l'attention sélective ou des traitements cognitifs de haut niveau (e.g., tâches de discrimination ou d'identification) (Kitterle & Selig, 1991 ; Niebauer & Christman, 1999 ; Proverbio, Zani, & Avella, 1997), et non des traitements perceptifs de bas niveau comme la simple détection (Kitterle, Christman, & Hellige, 1990). Sergent (1982a, b) a défendu elle aussi cette idée selon laquelle les différences hémisphériques pour le traitement des fréquences spatiales sont

issus de traitements ultérieurs au niveau purement sensoriel. Cette asymétrie hémisphérique concerne donc peut-être surtout la capacité à traiter ce qui est *issu* des canaux de traitement spécialisés pour les fréquences spatiales hautes ou basses, plutôt que ces traitements sensoriels. Des travaux en électrophysiologie le confirment. Pour des stimuli dont la hauteur des fréquences spatiales varie, une asymétrie hémisphérique inverse à celle postulée par l'hypothèse classique est observée pour les premières étapes d'une tâche de discrimination visuelle : au niveau des électrodes occipito-temporales, l'amplitude de l'onde précoce N170 est plus élevée dans l'HG pour les stimuli à fréquences spatiales basses, et il en va de même pour l'onde N310 relevée au niveau d'électrodes centro-temporales (Reinvang, Magnussen, & Greenlee, 2002). Des amplitudes plus élevées dans l'HG pour les fréquences spatiales hautes, et donc conformes à l'hypothèse classique, ne sont relevées par ces auteurs que pour une onde lente, si tardive qu'elle reflète vraisemblablement des traitements cognitifs de plus haut niveau.

Par ailleurs, et surtout, certaines données montrent que l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local se manifeste aussi lorsque les informations correspondant à l'un et l'autre niveaux ne peuvent être extraites qu'à partir de fréquences spatiales de même hauteur. Cela suggère que l'asymétrie hémisphérique en question n'est pas entièrement dépendante de la distinction entre les basses fréquences spatiales, véhiculant généralement l'information sur les formes globales, et les fréquences spatiales plus élevées associées aux informations sur les détails. Dans deux expériences présentant en CVG, en CVD, ou au centre de l'écran, des stimuli hiérarchisés dont le filtrage ne laisse passer que les fréquences spatiales élevées, Hübner (1997) a montré que l'absence de fréquences spatiales basses ralentit, les réponses, mais la présence des fréquences spatiales basses n'est pas indispensable pour observer l'avantage du niveau global (comme nous l'avons écrit dans la partie 2.1.3.3.) ni, surtout, l'asymétrie hémisphérique associée aux traitements des niveaux. Cela est surtout vrai dans l'expérience où la cible apparaît de manière non prédictible en tant qu'information globale ou locale (Expérience 1). D'autres arguments viennent des travaux sur les effets d'interférence entre niveaux, dont l'influence est connue pour varier selon le niveau dont l'interférence est issue et le champ visuel de présentation. Lamb et Yund (1993 ; 1996) ont montré la persistance de cette manifestation de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local, alors que l'information aux deux niveaux ne pourrait être extraite qu'à partir de fréquences spatiales élevées dans leur expérience. Des données en imagerie cérébrale ont même permis de montrer que, avec des stimuli comportant essentiellement des fréquences spatiales élevées, le traitement global s'accompagne d'activations dans le gyrus lingual droit et le traitement local d'activations dans le cortex occipital inférieur gauche (Fink, Marshall, Halligan, & Dolan, 1999). Cela montre que, bien que précoce, cette marque de l'asymétrie hémisphérique ne dépend pas strictement de la hauteur des fréquences spatiales privilégiées pour l'un ou l'autre niveau d'analyse. Les auteurs se rangent pour cela du côté de ceux qui estiment que les mécanismes qui règlent la perception des propriétés globales et locales sont inter-reliées à ceux qui gèrent les hautes et basses fréquences spatiales, mais ne s'y réduisent pas.

Pour finir, une étude récente a tenté d'évaluer à quelles étapes temporelles certains aspects des potentiels évoqués sont modifiés par le filtrage de fréquences spatiales

basses ou hautes, selon le traitement global ou local des stimuli (Boeschoten, Kemner, Kenemans, & Engeland, 2005). Les auteurs ont observé une interaction entre les niveaux et les fréquences spatiales, mais seulement à 250 ms : à cette étape, la suppression des fréquences spatiales basses s'accompagne d'une diminution de l'activité cérébrale associée au traitement des cibles globales. Il ne s'agit pas d'une étape extrêmement précoce et il faut utiliser des tâches d'attention focalisée, rendant apparemment possible une sélection plus rapide du niveau pertinent, pour que la négativité d'une onde s'accroisse en cas de traitement global dès 190 ms, et que cette modulation disparaisse avec la suppression des fréquences spatiales basses (Han, Yund, & Woods, 2003). Au final, Boeschoten et ses collègues (2005) concluent que le traitement de l'information globale dépend *en partie* de son contenu en fréquences spatiales basses, notamment parce qu'ils observent que l'interaction entre le niveau et les fréquences spatiales se produit dans des régions cérébrales plus latérales pour l'information globale, et plus médianes pour l'information locale, mais l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local ne peut s'expliquer seulement par des aspects de très bas niveau.

3.3.2.3. HYPOTHÈSE DE DEUX CATÉGORIES DE TRAITEMENT

La théorie d'un lien assez direct entre l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global et local et l'asymétrie hémisphérique pour les canaux spécialisés dans le traitement de fréquences spatiales hautes ou basses, défendue par Sergent (1982a, b) ou encore Robertson (1996), trouve une contrepartie dans les idées de Marvin Lamb. Tout en reconnaissant que leur nature reste à préciser, Lamb et Yund (1996) parlent en effet de '*mécanismes neuronaux spécifiques aux niveaux d'analyse*'. Nous avons déjà parlé de ce point dans la partie sur les effets de changement de niveau (partie 2. 4.), en précisant que, pour eux, des *catégories* de mécanismes distincts sont associées aux niveaux : il ne s'agit pas seulement de mécanismes sensoriels, certains seraient de plus haut niveau. Pour la question de l'asymétrie hémisphérique, cela revient à dire que la différence d'implication de l'un et l'autre hémisphère ne devrait pas seulement se manifester pour des structures cérébrales sous-tendant des aspects de bas niveau en vision. Nous avons vu dans la partie 3.3.1. que c'est effectivement le cas, avec une asymétrie hémisphérique associée aux traitements global/local non seulement repérée au niveau des aires visuelles occipitales, mais aussi occipito-temporales et, parfois, dans la jonction temporo-pariétale, aussi bien à travers l'observation des performances de patients avec des lésions latéralisées, qu'à partir de travaux en imagerie cérébrale.

3.3.3. Limites de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local

3.3.3.1. IRRÉGULARITÉ DE L'OBSERVATION DE CETTE ASYMÉTRIE HÉMISPHERIQUE

Nous avons vu que de nombreuses données montrent que des structures de l'HD présentent une spécialisation pour traiter efficacement et/ou porter l'attention sur l'aspect global d'un stimulus hiérarchisés, alors que des structures cérébrales latéralisées à gauche ont quant elles cette tendance pour les aspects locaux. Cette asymétrie hémisphérique présente cependant des limites, dont il convient de découvrir l'origine.

La première limite à signaler fait suite à un examen attentif des résultats relatés dans les expériences, considérées séparément. En effet, la complémentarité des spécialisations respectives des hémisphères cérébraux pour l'un et l'autre niveau ressort assez clairement surtout dans des méta-analyses cumulant les données de plusieurs travaux. Cependant, il est souvent difficile d'obtenir simultanément, dans une même étude, à la fois des indices de dominance d'un hémisphère pour un niveau et des indices de dominance de l'autre hémisphère pour l'autre niveau d'analyse.

Par exemple, dans l'une des premières séries d'expériences réalisées sur le sujet et utilisant des temps de réponses vocales, Martin (1979) a relevé une supériorité de l'HG pour le traitement de lettres locales, mais aucune asymétrie hémisphérique pour le traitement des lettres globales ; c'est aussi le cas de Hübner (1997), ou encore de Yovel, Yovel et Levy (2001) et de Evert et Kmen (2003).

Inversement, bien que cela soit plus rare, il est parfois difficile de montrer un plus grand investissement de l'HG spécifique au traitement du niveau local. Par exemple, dans une tâche de discrimination de cibles avec attention focalisée à un seul niveau, l'étude en IRMf conduite par Martinez et ses collègues (1997) montre que l'activation de régions occipito-temporales droites est significativement plus élevée lors du traitement global que lors du traitement local, alors que les aires occipito-temporales gauches sont activées pour l'un comme pour l'autre niveau, avec seulement une tendance à l'être plus fortement pour le niveau local.

Les difficultés à observer des configurations de résultats très claires concernant cette asymétrie hémisphérique ont certainement des origines multiples. Certaines tiennent vraisemblablement aux techniques mises en œuvre pour l'étudier et nous insisterons tout d'abord sur les difficultés à l'observer à partir de stimuli présentés unilatéralement. Nous montrerons aussi que d'autres techniques ont également parfois échoué à produire des résultats conformes à l'asymétrie supposée. Nous verrons ensuite que le choix de la tâche (avec attention focalisée à un niveau ou divisée entre les niveaux) peut favoriser le recueil de données reflétant plus ou moins clairement l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux. Plus fondamentalement, la nécessité de proposer des stimuli introduisant une certaine ambiguïté, et assortie d'un conflit au niveau de la réponse semble déterminante. Enfin, le traitement global/local de stimuli hiérarchisés implique des processus complexes, et l'intervention de certains mécanismes attentionnels eux-même latéralisés pourrait venir masquer l'asymétrie hémisphérique plus directement liée aux spécialisations pour l'un ou l'autre niveau d'analyse. Nous allons aborder successivement ces points dans ce qui suit.

3.3.3.2. DIFFICULTÉS LIÉES À LA PRÉSENTATION EN CHAMP VISUEL DIVISÉ

La position des stimuli semble assez déterminante pour l'obtention d'effets d'asymétrie hémisphérique selon le niveau. Yovel, Yovel, et Levy (2001) ont réalisé une méta-analyse sur les travaux tentant de montrer cette asymétrie en utilisant la méthode de présentation en champ visuel divisé. Il en ressort que la proportion d'études ne parvenant pas à mettre en évidence cet effet est plus importante que celle qui y parviennent.

Les études en imagerie cérébrale ou relevant des potentiels évoqués qui ont relaté

les asymétries hémisphériques les plus nettes ont généralement présenté des stimuli centrés (Fink, & al., 1996 ; Han, & al., 2000 ; Heinze, & al., 1998 ; Martinez, & al., 1997 ; Yamaguchi, & al., 2000) ou simultanés dans les deux champs (Boles & Karner, 1996 ; Evans, & al., 2000). De même, à partir de données comportementales, des effets d'asymétrie hémisphérique ont été obtenus à partir d'expériences présentant deux stimuli simultanément de chaque côté : le participant voit ainsi un premier couple (un stimulus hiérarchisé à gauche, l'autre à droite), rapidement remplacé par un autre couple, et il doit détecter un changement (au niveau global ou au niveau local, à gauche ou à droite) (Bedson & Turnbull, 2002). Avec ce paradigme de détection du changement, l'asymétrie hémisphérique classiquement décrite pour les niveaux global et local a été confirmée avec des mesures de performances.

Il est par contre plus difficile d'obtenir de tels effets à partir d'une présentation unilatérale, que ce soit avec la technique des potentiels évoqués (voir cependant Han, & al., 1999a ; Proverbio, Minniti, & Zani, 1998) ou avec des expériences recueillant des données comportementales (Blanca & Alarcon, 2002 ; Boles & Karner, 1996 ; Martin, 1979 ; Van Kleeck, 1989). En comparant des expériences faisant varier la position des stimuli, Han et ses collègues (2002) ont directement traité cette question et montré que le relevé d'une asymétrie hémisphérique liée au niveau d'analyse, dans le cortex occipital, est plus facile à partir de stimuli présentés de façon centrale.

Pour expliquer cela, Han et ses collègues (2002) font l'hypothèse que, lorsque le stimulus hiérarchisé est centré, les deux hémisphères tentent de le traiter et une compétition s'installe, puisque les deux ont simultanément accès à l'information. Aussi, davantage de ressources seraient accordées à un niveau particulier dans chaque hémisphère. Le traitement de l'ensemble serait alors optimisé, puisque chaque hémisphère serait incité à prendre particulièrement en charge le niveau d'analyse pour lequel il est le plus performant. Une asymétrie hémisphérique nette se dégagerait alors à travers les activations cérébrales enregistrées. Par contre, si le stimulus est présenté dans un seul champ visuel, l'hémisphère contralatéral recevrait prioritairement l'information et tendrait à traiter spontanément les deux niveaux, même celui pour lequel il n'est pas très performant (pour compenser l'impossibilité de l'autre hémisphère de prendre en charge ce niveau immédiatement) et la spécialisation hémisphérique s'exprimerait alors moins nettement. Chaque hémisphère aurait en effet une certaine capacité à traiter les deux niveaux, avec seulement des efficacités différentes (Van Kleeck, 1989).

Pour compléter cette interprétation, nous évoquerons finalement une étude réalisée en IRMf, destinée elle aussi à préciser pourquoi la présentation en champ visuel divisé ne permet pas d'observer systématiquement l'asymétrie hémisphérique déterminée par le niveau d'analyse sélectionné. Lux et ses collègues (2004) utilisent une tâche d'attention focalisée à des niveaux différents selon le bloc et ne recueillent pas (dans les régions occipitales) d'activations différenciées selon le niveau sélectionné. Une analyse plus fine révèle que ces effets se manifestent tout de même, mais seulement pour les stimuli présentés dans l'hémichamp le moins favorable au traitement direct du niveau sélectionné. Les auteurs relèvent en effet une augmentation de l'activité neuronale dans le cortex occipital postérieur gauche pour le traitement local de stimuli présentés en

CVG-HD, et une activation du cortex occipital postérieur droit pour le traitement global de stimuli présentés en CVD-HG. Obtenues dans ces seules conditions de traitement particulièrement difficile à cause de la position du stimulus, ces activations latéralisées selon le niveau d'analyse pourraient être, selon les auteurs, le fruit d'un rehaussement de l'information par un processus *top-down* destiné à compenser la dégradation de l'information par le transfert calleux. Aussi, dans le cas où le niveau à traiter n'est pas adressé directement à l'hémisphère le plus compétent pour ce niveau, à cause de l'emplacement du stimulus, le traitement pourrait souffrir d'un certain déficit, mais aussi bénéficier d'un rehaussement de l'activation de l'hémisphère le plus compétent pour le niveau, ce qui est susceptible de compenser le déficit. En conséquence, l'asymétrie des spécialisations hémisphériques pour les traitements global et local pourrait être masquée et apparaître difficilement dans l'analyse des données des expériences en champ visuel divisé.

Pour nuancer, il faut signaler que le recueil de données comportementales à partir de la technique de présentation en champ visuel divisé a parfois permis d'observer l'asymétrie hémisphérique liée aux traitements des niveaux global/local, à condition d'utiliser des temps de présentation rapides (Blanca, Zalabardo, Garcia-Criado, & Siles, 1994). Ces auteurs utilisaient le paradigme d'attention divisée. Au contraire, Evert et Kmen (2003) ont utilisé des expériences d'attention focalisée, avec des durées de présentations de 27, 40-53, 67, 80 ou 147 ms pour des stimuli, eux aussi, unilatéraux. Les durées de présentations intermédiaires sont les plus propres à faire apparaître l'asymétrie hémisphérique selon le niveau sélectionné..

Enfin, les limites de la technique de présentation en champ visuel divisé n'expliquent pas toutes les difficultés à observer des indices d'une asymétrie hémisphérique liée aux traitements global/local. Certaines recherches, conduites avec d'autres techniques, ont également échoué à montrer cet effet, que ce soient les potentiels évoqués (Han, Fan, Chen, & Zhuo, 1997 ; Han, He, & Woods, 2000 ; Johannes, Wieringa, Matzke, & Münte, 1996 ; pour une revue, voir Volberg & Hübner, 2004) ou l'imagerie cérébrale. Citons par exemple Heinze et ses collègues (1998) avec les potentiels évoqués et la TEP et Sasaki et ses collègues (2001) en IRMf, qui n'ont pas toujours réussi à répliquer l'asymétrie hémisphérique au niveau du cortex occipital selon le niveau d'analyse, bien que les stimuli visuels soient centrés. De même, certaines études neuropsychologiques ne sont pas parvenues à montrer des effets témoignant d'une asymétrie de la spécialisation hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local (Polster & Rapcsak, 1994 ; Schatz, Craft, Koby, & DeBaun, 2004). Notons que, dans le cas du travail de Polster et Rapcsak (1994), l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux n'est absente que dans les situations d'attention focalisée.

En dehors des limites imposées par la présentation en champ visuel divisé, d'autres contraintes contribuent donc vraisemblablement à rendre difficile la mise en évidence de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local, et certaines sont sans doute liées aux demandes attentionnelles imposées par les tâches.

3.3.3.3. LIMITES LIÉES AUX TÂCHES

S'il est vrai que des effets d'asymétrie hémisphérique ont été parfois relevés dans des tâches d'attention focalisée, les effets les plus nets ont été obtenus à partir d'expériences dans lesquelles le participant ne sait pas à l'avance à quel niveau la cible apparaîtra.

Citons par exemple le travail de Heinze, Hinrichs, Scholz, Burchert et Mangun (1998) qui, combinant la technique des potentiels évoqués et celle de la TEP, notent une plus grande amplitude de l'onde N2 (entre 260 et 360 ms après la survenue du stimulus) dans l'HG pour le traitement local et dans l'HD pour le traitement global dans une tâche d'attention divisée entre les niveaux, sans parvenir à répliquer cet indice d'asymétrie hémisphérique dans une épreuve d'attention focalisée. Dans sa méta-analyse réalisée à partir de travaux reposant sur des données comportementales, Van Kleeck (1989) remarque lui aussi que la plupart des expériences n'ayant permis d'observer que des effets d'asymétrie marginalement significatifs utilisaient le paradigme d'attention focalisée. Sergent (1982a) faisait exception avec un paradigme d'attention divisée, et, justement, obtenait les effets d'asymétrie hémisphérique les plus convaincants à l'époque.

Les travaux de Yovel, Yovel et Levy (2001) portent directement sur les effets des demandes attentionnelles de la tâche. Avec le paradigme de présentation en champ visuel divisé, ils comparent l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local dans une épreuve d'attention divisée (Expérience 1), puis dans une épreuve d'attention focalisée (Expérience 2) et enfin testent l'opposition entre ces deux tâches de manière intra-individuelle (Expérience 3). Conformément à leur attente, l'asymétrie hémisphérique liée au niveau d'analyse est significativement plus marquée dans l'épreuve d'attention divisée, et cet effet de la tâche est d'autant plus convaincant qu'il est reproduit aussi lorsqu'il est évalué de manière intra-individuelle. Plus précisément, les auteurs observent un avantage marginal de l'HD pour le traitement global dans l'épreuve d'attention divisée, alors qu'aucune asymétrie n'apparaît pour ce niveau si l'attention est focalisée ; l'avantage de l'HG pour le niveau local est quant à lui significatif dans les deux épreuves, mais l'interaction de cet effet avec la tâche montre qu'il est significativement plus marqué en cas d'attention divisée.

L'interprétation proposée par Yovel et ses collègues (2001), assez semblable à celle de Heinze et ses collègues (1998) est la suivante. Dans les épreuves où l'attention sélectionne un niveau pendant un bloc complet, il est possible que chaque hémisphère ajuste ses mécanismes attentionnels de manière appropriée aux demandes de la tâche. Qu'ils soient particulièrement compétents pour le niveau en question ou non, les deux hémisphères seraient solidaires pour mobiliser les ressources et traiter ce niveau au mieux. Dans ce cas, les différences hémisphériques pouvant être relevées ne pourraient refléter que les différences d'efficacité avec laquelle l'information de l'un ou l'autre niveau est extraite. Par contre, quand le participant ne sait pas à l'avance quel sera le niveau pertinent, des structures de l'HD auraient tendance à diriger l'attention vers l'information correspondant au niveau préféré (*i. e.*, global) alors que des structures de l'HG dirigeraient l'attention vers les détails, ceci pendant l'ensemble de la tâche ; l'effet lié aux différences de compétences de chaque hémisphère par rapport aux niveaux en serait renforcé. Dans cette explication exprimée en termes attentionnels, nous voyons donc que l'attention orienterait le mode de traitement des structures de chaque hémisphère en fonction des meilleures compétences de ceux-ci, par défaut, lorsque la consigne n'indique

pas à l'avance le niveau pertinent. À propos de la tâche d'attention divisée, Yovel et ses collègues ajoutent aussi que, après un engagement du traitement privilégié de chaque hémisphère, l'hémisphère spécialisé dans le traitement non pertinent devrait opérer un *switch* de manière à participer lui aussi au mode de traitement adapté. Ce *switch* est coûteux et pourrait encore renforcer le retard pour l'hémisphère le moins compétent dans ce niveau d'analyse, contribuant à accentuer les effets d'asymétrie hémisphérique selon les niveaux dans les situations d'attention divisée.

Avant de présenter l'autre interprétation proposée pour expliquer pourquoi les effets d'asymétrie hémisphérique liés aux niveaux se manifestent plus nettement dans les épreuves d'attention divisée, signalons que l'influence potentielle d'autres facteurs a été envisagée par Yovel et ses collègues, ainsi que par Van Kleeck (1989) une douzaine d'années avant. Une limite pourrait venir du type de réponse demandé : dans les épreuves de discrimination de cible, très souvent utilisées, la programmation de la réponse motrice requiert plus de ressources que dans les épreuves de go-no-go. De plus, dans les épreuves de discrimination, certains items requièrent un appui sur une touche située d'un certain côté, alors que le stimulus est apparu de l'autre : ces effets de compatibilité spatiale stimulus-réponse ne sont pas à négliger (voir par exemple Hommel, 1994), d'autant plus que l'HG serait spécialisé pour la planification motrice (Kimura & Archibald, 1974, cités par Yovel, & al., 2001). Cette dernière spécialisation hémisphérique est elle aussi susceptible de masquer les effets d'asymétrie étudiés en lien avec les niveaux global et local. L'effet de ce facteur a été testé (Yovel, & al., 2001), mais il s'avère que cette différence de demande concernant la programmation motrice n'influence pas vraiment le recueil d'indices d'une asymétrie hémisphérique liée aux aspects perceptifs dans l'opposition global/local. Par ailleurs, Van Kleeck (1989) évoquait la possibilité que la longueur de certaines expériences ait contribué à noyer les effets d'asymétrie hémisphérique sous des effets de pratique ou de fatigue. Cela ne suffit cependant pas à expliquer les difficultés à obtenir les effets d'asymétrie, puisque des expériences présentant 256 stimuli (ce qui excède la longueur des listes les plus importantes évoquées par Van Kleeck, 1989) permettent à Yovel et ses collègues (2001) de les enregistrer. Dans ce qui suit, nous verrons que Hübner (1997) relate lui aussi cette asymétrie malgré des expériences particulièrement longues (2 800 stimuli). De cet ensemble de remarques, il ressort que les demandes attentionnelles de la tâche doivent être pris en considération pour étudier les effets d'asymétrie hémisphérique liés au niveau d'analyse.

Comme Yovel et ses collègues, Hübner s'est particulièrement intéressé à l'effet de la tâche sur la facilité à obtenir des indices d'asymétrie hémisphérique liée aux niveaux. L'interprétation qu'il propose est différente et s'intègre dans une perspective théorique plus générale sur le traitement des stimuli hiérarchisés ; son originalité est de donner une place centrale à la question de la nature des représentations impliquées dans leurs traitements. Hübner (1997) a lui aussi comparé l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global /local dans des expériences avec attention divisée entre les niveaux ou focalisée sur un niveau d'analyse. Il relève des effets classiques d'asymétrie hémisphérique dans l'épreuve d'attention divisée, qui persistent d'ailleurs malgré la suppression des fréquences spatiales basses (Expérience 1). Par contre, dans l'épreuve avec attention focalisée, un avantage de l'HG est encore discernable pour le traitement

local, mais est fortement réduit par rapport à l'autre expérience, et le traitement global ne fait plus l'objet d'aucune dominance hémisphérique.

L'auteur interprète tout d'abord cette disparition de l'asymétrie hémisphérique en disant que la concentration constante sur un seul niveau d'analyse permet d'optimiser les mécanismes de contrôle de chaque hémisphère, de sorte qu'ils puissent, l'un comme l'autre, se donner la priorité pour le traitement demandé, qu'ils soient pour cela spécialisés ou non, mais aussi inhiber les perturbations pouvant venir de mécanismes d'analyse inappropriés, ce qui réduirait les différences entre eux. Dans les épreuves où la cible peut apparaître à l'un ou l'autre niveau, il estime que l'impossibilité de connaître à l'avance le niveau pertinent accroît la mise en œuvre à la fois de mécanismes de traitement global et de traitement local, quelle que soit leur pertinence effective finale pour chaque stimulus, ce qui optimise les chances de l'un et l'autre hémisphères de manifester surtout leur spécialisation respective pendant l'ensemble de l'expérience. Jusqu'ici son explication est assez similaire à celle de Yovel et de ses collègues (2001). Elle prendra une tournure différente plus tard, à partir d'une remarque sur le fait que, dans les expériences avec attention focalisée, l'analyse détaillée des résultats montre que des effets d'asymétrie hémisphérique sont manifestes dans le cas des stimuli contenant, au niveau qui ne doit pas être sélectionné, une information contradictoire avec la réponse à fournir à propos du niveau pertinent. Dès lors, ce n'est plus la tâche elle-même qui semble déterminante pour l'observation d'effets d'asymétrie, mais la présence d'un conflit au niveau de la réponse. Cela nous conduit au développement du point suivant.

3.3.3.4. LIMITES LIÉES AU CONFLIT DE RÉPONSE

La présence d'une contradiction entre les réponses qui pourraient être issues de l'identification des formes à l'un et l'autre niveaux semble un critère important pour que l'asymétrie hémisphérique se manifeste en fonction du niveau où la cible se situe. En effet, à partir d'une recherche en potentiels évoqués, Malinowski, Hübner, Keil et Gruber (2002) ont observé que les corrélats électrophysiologiques de la différence hémisphérique sont observées surtout pour les stimuli contenant des informations contradictoires entre les niveaux. Dans sa méta-analyse, Van Kleeck (1989) montrait déjà, lui aussi, que 5 des 6 études dont il rassemblait les résultats présentaient l'avantage de l'HD pour le niveau global et celui de l'HG pour le niveau local lorsque les stimuli introduisaient un conflit (la cible concurrente était présente au niveau que la consigne demandait d'ignorer). Par contre, seules 2 études sur les 5 utilisant des stimuli n'induisant pas de conflit permettaient d'observer cette configuration de résultats. Cela suggère qu'une asymétrie hémisphérique a des chances de se manifester seulement si une représentation assez élaborée du stimulus s'est faite. Une telle représentation précise est en effet nécessaire pour lever l'ambiguïté et fournir une réponse correcte basée sur la certitude que, malgré son contenu, le distracteur ne doit pas fonder la réponse, puisqu'il n'est pas situé au bon niveau. Ce type de situation correspond à la condition 'piège' dans les épreuves d'attention focalisée. En présence de ce genre d'ambiguïté, un conflit survient au niveau de la réponse et les effets d'interférences ne peuvent être contrecarrés que si la représentation mentale du stimulus complet est claire, spécifiant l'identité des deux informations, associées chacune précisément à leur niveau respectif.

Hübner et ses collègues ont répliqué de nombreuses fois cet effet de la présence d'une compétition au niveau de la réponse, sur la mesure d'indices d'asymétrie hémisphérique liée aux niveaux (Hübner & Malinowski, 2002 ; Hübner & Volberg, 2005 ; Volberg & Hübner, 2004 ; Volberg & Hübner, 2006). Dans des tâches de discrimination de cibles avec attention focalisée sur un niveau, l'asymétrie hémisphérique se manifeste en effet plus couramment pour les stimuli contenant un piège. Sans nier l'intérêt de l'explication proposée par Yovel et collègues (2001), d'ailleurs assez semblable à leur explication initiale, Hübner et ses collègues font remarquer que celle-ci ne permet pas de rendre compte du caractère déterminant du conflit de réponse pour l'observation d'une asymétrie hémisphérique liée aux niveaux (Hübner, Volberg, & Studert, in press). Pour expliquer pourquoi la gestion de tels conflits de réponse conditionne l'asymétrie hémisphérique selon les niveaux, Hübner et son équipe ont développé la *théorie de l'intégration* (Hübner & Volberg, 2005), en partie inspirée de Treisman (1998). Cette théorie les amènera à énoncer que l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux repose sur un mécanisme assez tardif de sélection de la réponse.

Alors que la plupart des chercheurs dans ce domaine supposent, implicitement, que l'information sur le niveau et sur son contenu sont immédiatement encodées de manière combinée, la théorie de Hübner propose qu'à une étape précoce du traitement visuel, l'information sur l'identité des lettres est rapidement encodée de manière séparée. Les identités des lettres seront associées chacune au niveau qui leur correspond dans le stimulus hiérarchisé seulement plus tard. Ces auteurs reconnaissent que Lamb et Yund (1996) avaient eu cette intuition, quand ils suggéraient déjà, mais sans développer, qu'il était possible que l'identité de la cible et l'identité du niveau soient représentées séparément.

Dans un modèle comme celui-là, la discrimination de cible dans des stimuli hiérarchisés pourrait parfois se réaliser dès l'issue d'une étape de traitement précoce où l'identité des éléments serait représentée, mais sans correspondance avec des niveaux respectifs. Ce pourrait théoriquement être le cas dans les tâches d'attention divisée, où la réponse ne doit pas être conditionnée par le niveau auquel la cible apparaît. Ce serait aussi le cas pour les stimuli ne contenant pas de piège dans les tâches d'attention focalisée. Par contre, lorsque le stimulus hiérarchisé contient une cible concurrente au niveau devant être ignoré, dans une tâche d'attention focalisée, les deux lettres activeraient des réponses entre lesquelles il n'est possible de choisir que si chaque lettre est clairement associée à son niveau : il faut alors disposer d'une représentation plus élaborée et complète de l'objet (Hübner & Malinowski, 2002). Cette association serait possible grâce à un mécanisme d'intégration tardif (*'binding'*, Treisman & Gelade, 1980) entre l'identité des éléments et les niveaux d'apparition. Or, d'après Hübner et ses collègues les deux hémisphères participeraient à cette intégration, mais l'HD serait plus compétent pour opérer le *'binding'* au niveau global et l'HG le serait davantage pour le niveau local (Hübner, Volberg, & Studert, sous presse). Selon eux, l'asymétrie hémisphérique observée en fonction des niveaux viendrait essentiellement de ce mécanisme d'intégration. Les hémisphères diffèreraient moins quant à leur efficacité de traitement perceptif des différents niveaux, que pour ce qui est de leurs capacités respectives d'intégration de l'information sur l'identité des objets et leur niveau dans la

hiérarchie d'un stimulus visuel complexe (Volberg & Hübner, 2007). C'est pourquoi l'asymétrie hémisphérique ne serait pas systématiquement observée dans toutes les expériences, en particulier lorsqu'aucun conflit n'est à résoudre. Cette hypothèse est cohérente avec la restriction de l'asymétrie hémisphérique dans le seul cas de stimuli-pièges (*i. e.*, induisant une interférence) pour les tâches d'attention focalisée. Hübner et Volberg (2005) ont testé les prédictions de leur modèle avec succès à travers trois expériences d'attention focalisée à un niveau, en réduisant le temps de présentation des stimuli hiérarchisés par un masque, de façon à empêcher l'opération de '*binding*' entre identité des éléments et niveaux : ils ont montré que cette manipulation conduit à produire des erreurs témoignant d'une identification correcte des lettres, d'une association incorrecte de chacune avec son niveau d'apparition. De plus, les effets de champs visuels de présentations n'ont été observés, comme prédit, que si le délai de présentation est suffisant pour permettre l'intégration lettres/niveaux.

Un déficit s'impose à cette hypothèse. Nous avons vu que des indices d'asymétrie hémisphérique selon les niveaux sont plus couramment observés dans les tâches d'attention divisée que dans les situations d'attention focalisée. Or, a priori, les tâches d'attention divisée n'imposent pas le mécanisme d'intégration entre l'identité des éléments et les niveaux. Pour rester dans leur logique, les auteurs font remarquer que les cibles et les éléments distracteurs à l'autre niveau sont souvent visuellement très similaires dans les expériences d'attention divisée (Hübner, Volberg, & Studert, sous presse). Dans la dernière série d'expériences présentées dans cet article, les auteurs ont manipulé la ressemblance des distracteurs avec la cible dans des épreuves d'attention divisée, et ont montré que ce facteur est déterminant pour l'observation d'effets d'asymétrie hémisphérique liée aux niveaux traités (Hübner, Volberg, & Studert, sous presse). Ils observent aussi un effet de la similarité des distracteurs dans des épreuves d'attention focalisée, mais ce facteur exerce un impact maximum dans les épreuves d'attention divisée. En faveur de cette idée, nous pouvons rappeler les expériences qui montraient que, lorsque les distracteurs sont toujours les mêmes et qu'ils sont peu informatifs (e. g., toujours des carrés), l'effet négatif du changement de niveau d'un item à l'autre n'est pas observé (Shedden, Marsman, Paul, & Nelson, 2003). Dans de telles situations, le participant remarquerait rapidement qu'il suffit d'identifier la seule forme qui n'est pas neutre, sans qu'aucun traitement approfondi de l'autre forme (neutre) soit nécessaire, encore moins l'association précise de l'identité de chaque forme à son niveau. L'idée développée par Hübner et ses collègues pour expliquer l'absence d'asymétrie hémisphérique liée aux niveaux dans certaines expériences est assez proche de celle proposée par Shedden, Marsman, Paul et Nelson (2003) pour expliquer l'absence d'effet négatif du changement de niveau lorsque les distracteurs sont homogènes : si le traitement est très facile du point de vue attentionnel, la réponse peut se baser sur la seule identification des objets et l'étape d'association entre identités et niveaux, source majeure d'asymétrie hémisphérique pour Hübner et de changement de modes de traitement pour Shedden et ses collègues, ne s'impose plus.

Pour finir, dans une recherche en potentiels évoqués, Volberg et Hübner (2004) ont mesuré l'impact respectif de deux facteurs dont nous avons développé l'importance pour l'observation d'une asymétrie hémisphérique liée au niveau d'analyse : la position du stimulus (latéralisé ou centré) et la compétition au niveau de la réponse. Ces auteurs ont

observé les différences hémisphériques habituelles selon le niveau traité, à la fois à travers l'analyse des temps de réponse et la mesure de l'amplitude d'ondes tardives (N2 et P3). Surtout, ils montrent que l'asymétrie hémisphérique liée aux traitements global et local dépend encore plus de la présence d'un conflit de réponse que de la position du stimulus.

3.3.3.5. LIMITES LIÉES À L'INTERVENTION DE MÉCANISMES ATTENTIONNELS LATÉRALISÉS

Une autre source possible de difficulté à observer une latéralisation hémisphérique parfaitement liée aux seuls niveaux d'analyse vient peut-être aussi du fait que le traitement de stimuli hiérarchisés implique aussi plusieurs mécanismes non directement liés à la spécialisation pour des niveaux d'analyse, mais qui seraient eux-mêmes fortement latéralisés et masqueraient le phénomène de latéralisation hémisphérique lié aux niveaux d'analyse. Deux recherches récentes font ce type de proposition.

A partir d'une expérience avec attention focalisée à un niveau pré-spécifié, conduite en IRMf, Lux et ses collègues (2004) ont avant tout observé une augmentation de l'activité neuronale dans le cortex occipital postérieur gauche pour le traitement local (en particulier lorsque le stimulus est placé dans les conditions les plus difficiles pour être ainsi traité, c'est-à-dire en CVG), et une augmentation de l'activité neuronale dans le cortex occipital postérieur droit pour le traitement global (là aussi lorsque le stimulus est présenté dans le champ visuel le moins favorable, ici à droite). En outre, ils relatent que le traitement local s'accompagne d'une activation du cortex cingulaire antérieur droit, uniquement lorsque l'attention est focalisée au niveau local. Ils attribuent cette activation à un mécanisme attentionnel qui tenterait de supprimer l'effet de précédence du traitement global. L'intervention d'un tel mécanisme, sous-tendu par des régions cérébrales situées dans l'HD, pourrait contribuer à masquer l'avantage de l'HG pour le traitement local dans certaines expériences, en particulier lorsque la tâche requiert la focalisation sur un certain niveau pendant toute l'épreuve.

Mevorach, Humphreys et Shalev (2006) suggèrent eux aussi que la difficulté à mesurer une asymétrie hémisphérique claire, en lien avec la différence de niveaux vient du fait que la situation expérimentale impose parfois d'autres processus attentionnels, pour lesquels il existe aussi une spécialisation hémisphérique, qui vient masquer l'asymétrie hémisphérique associée à l'opposition des niveaux. Ils évoquent en particulier un mécanisme de contrôle de l'attention sous-tendu par le lobe pariétal inférieur gauche. Or, un contrôle précis de l'attention peut être nécessaire aussi bien dans les tâches d'attention divisée que d'attention focalisée. Il s'impose fortement dans le premier type d'expériences s'il faut fréquemment commuter l'attention d'un niveau à l'autre entre des stimuli successifs. Dans les épreuves d'attention focalisée, la nécessité d'inhiber une information située au niveau devant être ignoré requerrait également un contrôle attentionnel important, en particulier lorsque cette information non pertinente est visuellement plus saillante que celle devant être traitée.

Certaines observations neuropsychologiques peuvent appuyer cette idée (Lamb, & al., 1990 ; Robertson, Lamb, & Knight, 1988). Des lésions du gyrus *temporal* supérieur

gauche s'accompagnent de difficultés à identifier des formes au niveau local, ce qui va dans le sens de l'hypothèse d'un biais hémisphérique pour le traitement perceptif de ce niveau, mais des lésions *pariétales* inférieures gauches se traduisent plutôt par des difficultés dans les tâches imposant de fréquents passages d'un niveau à l'autre. À partir de données en TEP recueillies auprès de sujets sains Fink et ses collègues (1997a) montrent aussi une augmentation de l'activation en région pariétale gauche avec l'augmentation du nombre de passages entre les niveaux. Le lobe pariétal inférieur gauche jouerait donc un rôle fondamental dans le contrôle du passage de l'attention d'un niveau à l'autre. Aussi, une dominance générale de l'HG pourrait apparaître dans les épreuves d'attention divisée, à cause de contraintes inhérentes à la tâche, et celle-ci pourrait masquer la manifestation de l'asymétrie hémisphérique plus directement liée aux niveaux.

Pour expliquer les difficultés à observer l'asymétrie hémisphérique liée aux niveaux dans les épreuves d'attention focalisée, Mevorach et ses collègues (2006) défendent l'idée selon laquelle des mécanismes de contrôle attentionnel sous-tendus par l'HG seraient particulièrement impliqués lorsque l'information située au niveau devant être ignoré est visuellement plus saillante que celle devant faire l'objet d'une focalisation. Ils observent pour cela les performances de patients atteints de lésions pariétales gauches, et montrent qu'ils présentent effectivement des difficultés à ignorer l'information située au niveau ne devant pas être sélectionné, dans les cas où le rapport de taille entre la lettre globale et les éléments locaux est défavorable au niveau pertinent, que celui-ci soit global ou local. Ils montrent que les patients atteints de lésions pariétales gauches ne présentent pas de difficulté spécifique pour le traitement local, mais plutôt une difficulté à contrôler la focalisation de l'attention sur un niveau que les caractéristiques physiques des stimuli rendent peu saillant. Encore une fois, un mécanisme attentionnel latéralisé, impliqué à cause des demandes générales de la tâche, pourrait masquer des effets d'asymétrie hémisphérique liés aux niveaux eux-mêmes, en particulier ici dans les tâches d'attention focalisée.

3.3.3.6. VERS L'HYPOTHÈSE D'UNE MODULATION DE L'ASYMÉTRIE HÉMISPHERIQUE PAR LA CATÉGORIE DES STIMULI

Alors que l'influence de diverses modifications physiques des éléments visuels supportant les informations aux niveaux global et local de stimuli hiérarchisés a été abondamment étudiée, peu de travaux portent sur le contenu de ces éléments en termes sémantiques. Il est vrai que, dans une perspective considérant les deux modes de traitement comme essentiellement conditionnés par le contenu de l'information en fréquences spatiales, des questions relatives à des niveaux d'information plus élaborés ne se posent pas. Toutefois, comme nous l'avons vu, les travaux récents montrent que l'implication de certaines aires cérébrales sous-tendant des mécanismes visuels relativement précoces peut être modifiée, notamment quant à sa latéralisation, à cause de facteurs de haut niveau, relatifs par exemple aux demandes de la tâche et qui exercent leur influence à travers des mécanismes attentionnels. Dès lors, il n'est pas exclu que le fait d'avoir à traiter une série d'items contenant des informations d'une certaine catégorie (il s'agit en général de la catégorie *lettres*, qui relève du domaine de l'orthographe, dans les stimuli hiérarchisés)

mette aussi le participant dans des dispositions de traitement particulières, susceptibles de jouer un rôle dans la réalisation des mécanismes de traitement global/local. Nous avons évoqué dans la partie 2.3.5.1. des travaux montrant que les performances dans des tâches d'appariement de dessins selon des critères physiques (forme, orientation, taille) pouvaient être modifiées par le fait que les objets comparés appartiennent ou non à la même catégorie sémantique (Boucart & Humphreys, 1992, 1994, 1997 ; Murray & Jones, 2002). Même s'ils ne sont pas requis par la tâche, des traitements basés sur l'organisation catégorielle des connaissances peuvent donc intervenir, si rapidement qu'ils influent sur le traitement de simples caractéristiques physiques. L'idée de l'intervention de certains processus de haut niveau déterminés par les connaissances sémantiques sur les traitements visuels global/local est aussi cohérente avec le fait que le traitement de chaque niveau est influencé par la familiarité des éléments. En particulier, la présence d'objets familiers au niveau local peut annuler l'avantage du niveau global : l'identification d'objets familiers se produit si rapidement qu'elle peut biaiser l'attention vers un certain niveau d'analyse (Poirel & Mellet, 2006).

Sans parler d'une préparation volontaire dont les mécanismes seraient délibérément contrôlés, il est possible d'imaginer que le système cognitif du participant puisse se prédisposer à traiter au mieux l'information globale et local en tenant compte aussi de cet aspect de contenu. Il nous semble que poser cette question ne paraît pas complètement hors de propos, dans le contexte des travaux que nous venons d'évoquer. Ceux-ci montrent que l'asymétrie hémisphérique liée au traitement des niveaux global et local peut être modulée par des influences de haut niveau, relatives aux demandes attentionnelles de la tâche. En fonction des caractéristiques de la tâche qui permet ou non la pré-sélection d'un niveau (*i. e.*, tâches d'attention focalisée *versus* divisée). Nous avons vu que les critères d'engagement des hémisphères peuvent varier : dans des situations d'attention divisée, un système de contrôle pourrait laisser chaque hémisphère accorder un privilège au mécanisme sur lequel il est le plus (traiter l'aspect global ou local) mais il peut au contraire contraindre chacun à engager aussi les mécanismes pour lesquels ils sont moins compétents, notamment dans les tâches d'attention focalisée ou en cas de présentation latéralisée. Parmi les critères pouvant être à l'origine d'une modulation de haut niveau exercée sur l'engagement plus ou moins fort de certains mécanismes visuels plus élémentaires, l'appartenance des éléments d'information à la catégorie des lettres ou à celle des dessins d'objets pourrait jouer un rôle.

Pour avoir un indice de l'influence potentielle des catégories sur le déroulement des traitements de stimuli visuels complexes, il faut que l'identification des éléments de ces catégories se distingue par exemple par des dominances hémisphériques opposées. Ce pourrait être le cas de la catégorie des lettres, qui relève du domaine verbal et pourrait à ce titre surtout impliquer des régions cérébrales de l'HG, et de la catégorie des dessins d'objets dont le traitement pourrait au contraire surtout engager des régions de l'HD.

Tout comme le fait de connaître à l'avance le niveau auquel l'information pertinente apparaîtra semble modifier l'intensité relative de l'engagement de certains mécanismes de traitement global et local de l'information visuelle, supportés par des régions cérébrales latéralisées différemment, le fait de connaître à l'avance la catégorie des éléments à identifier pourrait aussi modifier l'engagement de régions cérébrales latéralisées

différemment selon leur compétence pour telle ou telle catégorie. Au final, tout comme la comparaison entre les résultats d'épreuves d'attention divisée et d'attention focalisée s'accompagne de différences quant à l'asymétrie hémisphérique liée aux traitements des niveaux, la comparaison entre le traitement de listes de lettres hiérarchisées et de dessins d'objets hiérarchisés pourrait aussi témoigner de modulations de l'asymétrie hémisphérique liée au traitement de ces niveaux.

Cette hypothèse ne s'appuie pas seulement sur le raisonnement que nous venons de développer pour montrer comment elle s'inscrit dans les recherches actuelles concernant l'asymétrie hémisphérique pour les traitements visuels global/local. Elle paraît également compatible avec quelques données, encore rares, sur le sujet, que nous présentons maintenant.

3.3.3.7 VERS NOS HYPOTHÈSES CONCERNANT L'INFLUENCE DES CATÉGORIES LA DOMINANCE HÉMISPHERIQUE POUR LE TRAITEMENT GLOBAL ET LOCAL.

Tout d'abord, même si la plupart des expériences portant sur les traitements global/local est conduite à partir de lettres hiérarchisées, certaines utilisent plutôt des figures géométriques, parfois nommables, d'autres fois non. Il se trouve que certaines de ces expériences n'ont pas permis d'observer la dominance de l'HD pour le niveau global, ni celle de l'HG pour le niveau local. Il est difficile d'imputer cette absence d'asymétrie hémisphérique au seul choix de ce type de stimuli, car nous avons vu que plusieurs facteurs peuvent contribuer à réduire les chances d'observer cet effet (choix de la tâche, position des stimuli, durée de présentation...). Citons tout de même les travaux de Blanca et Alarcón (2002), qui observent une même habileté de l'un et l'autre hémisphère pour traiter l'information locale et globale avec des stimuli hiérarchisés composés d'un grand carré, auquel il manque le côté droit ou le côté gauche, constitué de petits carrés auxquels il manque aussi soit le côté droit, soit le côté gauche. La tâche est de juger l'orientation du côté ouvert, soit au niveau global, soit au niveau local. La tâche et les stimuli sont donc ici avant tout caractérisés par leurs aspects visuo-spatiaux, et non verbaux. Il se peut que cela ait contribué à ne pas laisser apparaître d'indice d'une dominance de l'HG pour le traitement local. Pour prendre un second exemple, l'absence de différence hémisphérique selon le niveau d'analyse de stimuli hiérarchisés composés de carrés et de rectangles, dans une expérience présentée par Polich et Aguilar (1990), a aussi été interprétée par leurs auteurs comme un effet de la nature des stimuli. Ils montrent même un avantage général de l'HG pour les carrés et de l'HD pour les rectangles. Ils concluent que la forme générale du stimulus, plutôt que le seul mode de traitement ou les fréquences spatiales, est un déterminant majeur des différences hémisphériques pour les traitements visuels.

Concernant plus directement l'influence des catégories Lettre et Dessin d'Objet sur l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local, il existe peu de données. Certes, Brown et Kosslyn (1995) se sont posés des questions à ce sujet, mais les expériences conduites ne proposaient pas, à proprement parler, des stimuli hiérarchisés, mais plutôt des dessins imbriqués, ce qui ne permet pas de parler d'une opposition global/local au sens strict du terme.

Les résultats les plus marquants viennent d'expériences réalisées en TEP. A la suite d'une étude portant sur les activations cérébrales accompagnant le traitement global ou local de lettres hiérarchisées (Fink et al., 1996), Fink et ses collègues ont étudié la même question avec de grands dessins d'objets, constitués de petits dessins d'autres objets, chez 10 hommes droitiers (Fink, Marshall, Halligan, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1997b). Il s'agissait d'un mélange de figures géométriques et d'objets facilement identifiables par les participants, les unes et les autres étant faciles à nommer en anglais (carré, triangle, rectangle, losange, tasse, ancre marine, croissant de lune, cloche, étoile, valise, flèche). Comme dans les épreuves avec les lettres hiérarchisées, il s'agissait là aussi de focaliser l'attention sur un seul niveau pour chaque bloc de l'expérience et de nommer l'objet représenté à ce niveau ; la présentation de chaque stimulus est centrée. Nous avons déjà évoqué plus haut ces résultats, pour d'autres raisons, mais rappelons que, pour les lettres hiérarchisées, Fink et ses collègues ont montré des activations neuronales associées à des traitements visuels précoces : dans le cortex extra-strié droit pour la sélection du niveau global et dans le cortex occipital inférieur gauche pour la sélection du niveau local. Des activations relevées également dans le cortex temporo-pariétal suggèrent que cette région sous-tend des mécanismes de contrôle attentionnel, qui s'exercent sur les traitements perceptifs effectués dans le cortex extra-strié.

Dans l'expérience avec les dessins d'objets hiérarchisés, la sélection du niveau global se caractérise par des activations significativement plus fortes dans le gyrus lingual gauche que dans le gyrus lingual droit, alors que la sélection du niveau local se caractérise par une activité significativement plus élevée dans le cortex occipital inférieur droit que dans la région analogue de l'HG. En comparant les résultats des expériences sur les lettres et les dessins hiérarchisés, les auteurs confirment que le renversement des asymétries hémisphériques avec la catégorie Dessin d'Objet est significatif, aussi bien dans le cortex occipital inférieur que dans le gyrus lingual. De plus, dans l'expérience avec les dessins d'objets, l'asymétrie hémisphérique décrite pour l'ensemble du groupe est effective chez 7 participants sur 10, aucune activation significative dans le cortex strié et extra-strié n'ayant été enregistrée chez les 3 autres sujets.

Cette inversion de l'asymétrie hémisphérique liée à la catégorie du matériel s'est manifestée dans des structures cérébrales sous-tendant des traitements visuels précoces, ce qui confirme que la spécialisation de l'HG pour le traitement local et celle de l'HD pour le traitement global ne sont pas absolues, et que la hauteur des fréquences spatiales n'est pas le seul déterminant de la spécialisation hémisphérique pour le traitement des niveaux. L'identité entre les tâches proposées pour les deux expériences ne permet pas de lier l'absence d'asymétrie hémisphérique classique pour les niveaux global/local des objets hiérarchisés au seul choix d'une épreuve d'attention focalisée, peu propice, il est vrai, à l'observation de l'asymétrie hémisphérique classique.

A notre connaissance, une seule recherche a jusqu'ici tenté de répliquer ces effets de catégories. Bedson et Turnbull (2002) ont pour cela utilisé une situation expérimentale très différente : le paradigme de détection du changement, pour des stimuli présentés simultanément dans les champs visuels gauche et droit. La tâche demande d'indiquer si un changement est intervenu entre deux stimuli successifs séparés par un masque : en cas de changement, celui-ci peut intervenir entre les stimuli de gauche ou entre ceux de

droite ; le changement concerner le niveau global ou le niveau local. Quatre expériences ont été réalisées : l'une avec des lettres hiérarchisées, une autre avec des figures géométriques hiérarchisées (ce qui n'est pas tout à fait la même chose que les dessins d'objets), une autre avec de grandes figures géométriques constituées de petites lettres, la dernière expérience proposant des grandes lettres constituées de petites figures géométriques. Contrairement à ce qui s'est produit dans les expériences de Fink et de ses collègues, l'analyse des données (sensibilité des participants évalués avec l'indice) montre dans toutes les expériences de Bedson et Turnbull une dominance de l'HD pour la détection du changement au niveau global. Ils ne répliquent donc pas l'effet de la catégorie sur l'asymétrie hémisphérique pour le traitement global, relevé par Fink et ses collègues. Pour ce qui est du niveau local, l'examen attentif de leurs résultats montre que, dans les deux expériences présentant des stimuli hiérarchisés dont les détails sont des lettres, un avantage de l'HG pour ce niveau est présent, alors que dans les deux expériences où le niveau local est constitué de dessins, aucun avantage hémisphérique n'apparaît : pour reprendre les termes des auteurs, le fait que les stimuli soient linguistiques ou non n'est pas anodin par rapport à l'asymétrie hémisphérique associée au traitement local de stimuli hiérarchisés. Aussi, sans pouvoir parler d'une véritable inversion de dominance hémisphérique dans la recherche de Bedson et Turnbull (2002), il est tout de même possible de dire à partir de leurs résultats, que le fait que les stimuli soient constitués de lettres ou de figures géométriques exerce une influence sur la dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local.

Fink et ses collègues (1997b) ont, quant à eux, interprété les effets obtenus à partir de leurs données en TEP, dans une perspective dont nous avons essayé de montrer l'intérêt dans ce qui précède : le traitement des niveaux global et local n'est pas seulement déterminé par des mécanismes sensoriels et des traitements ascendants, mais aussi par des processus descendants, issus de plus hauts niveaux et impliquant vraisemblablement des structures situées en région temporo-pariétale. Pour ce qui est des traitements sous-tendus par cette dernière région, l'observation de dessins réalisés en copie par des patients atteints de lésions unilatérales dans cette région montre des configurations de résultats équivalentes pour des lettres et des dessins hiérarchisés : l'information sur la catégorie n'est donc pas déterminante pour l'asymétrie hémisphérique dans cette région. Les données de Fink et ses collègues (1997b) témoignent de l'influence des catégories sur la latéralisation des activations dans des régions sous-tendant des traitements de plus bas niveau. Ces auteurs pensent que la modulation des activations dans les aires extra-striées est produite par un mécanisme attentionnel de haut niveau, mais s'exprime par des changements de l'engagement de mécanismes latéralisés de plus bas niveau.

Leur raisonnement est centré sur le fait que le niveau local est a priori le plus difficile et demanderait plus de ressources au niveau perceptif. Aussi, Fink et ses collègues estiment que, d'un point de vue biologique, il n'est pas aberrant de penser qu'une bonne stratégie soit de faire en sorte que le traitement de ce niveau engage prioritairement les structures de l'hémisphère le plus compétent pour traiter le contenu de l'information. Par suite, si le niveau local est sélectionné, l'information contenue à ce niveau sera traitée en priorité par l'HG en cas de lettres hiérarchisées et par l'HD en cas de dessins

hiérarchisés, l'HG étant plus compétent dans les traitements langagiers et l'HD étant fortement impliqué dans la reconnaissance d'objets (McCarthy & Warrington, 1990). En d'autres termes, les auteurs ne nient pas que des structures de l'HD soient plus compétentes pour le traitement d'informations situées au niveau global, et que des structures de l'HG le soient pour le traitement du niveau local. Toutefois, la catégorie des stimuli est, selon eux, un déterminant majeur des influences de haut niveau sur l'implication de structures latéralisées, et son impact sur la distribution des ressources est si fort qu'il est susceptible de renverser la dominance hémisphérique classique pour les niveaux (Fink, & al., 1999).

Les auteurs n'expliquent pas directement comment cette interprétation peut aussi rendre compte des effets observés pour le traitement global. Ils suggèrent seulement que l'hémisphère qui n'est pas particulièrement engagé dans le traitement local, parce qu'il n'est pas spécialisé pour traiter la catégorie d'information présente, reste relativement disponible pour le niveau global. Ainsi, dans le cas de lettres hiérarchisées, l'HD resterait suffisamment disponible pour s'impliquer fortement dans le traitement du niveau global (ce qui concorde avec les résultats de Fink, & al., 1996), mais dans le cas de dessins hiérarchisés, le niveau local serait prioritairement pris en charge par l'HD, et l'HG resterait le plus disponible pour traiter le niveau global, ce qui est cohérent avec l'augmentation des activations dans l'HG pour la focalisation au niveau global de dessins hiérarchisés (Fink, & al., 1997b).

Plusieurs aspects de l'interprétation de Fink et de ses collègues (1997b) suggèrent des prédictions. Tout d'abord, il serait bon de vérifier si le principe qu'ils énoncent (l'hémisphère spécialisé pour une catégorie donnée est celui auquel un processus *top-down* donnera priorité pour traiter le niveau local) reste vrai dans une épreuve avec attention divisée. Il n'y a pas de raison pour que le traitement local ne s'accompagne plus, dans ces conditions, d'une dominance de l'HD pour des dessins d'objets et d'une dominance de l'HG pour des lettres hiérarchisées, si ce qui est déterminant pour l'engagement de mécanismes latéralisés est surtout la catégorie des stimuli et la difficulté relative des niveaux plutôt que la seule dominance hémisphérique pour les modes de traitements global *versus* local. Si ce principe est vrai, alors, par exemple, le traitement local de dessins d'objets hiérarchisés devrait être pris en charge prioritairement par l'HD, que la cible soit finalement située au niveau global ou au niveau local. C'est ce que propose notre **Hypothèse 1**. Pour cela, nous réaliserons des expériences dans lesquelles le niveau d'apparition de la cible ne peut être prédit, l'une avec des lettres hiérarchisées, l'autre avec des dessins hiérarchisés.

Par ailleurs, dans l'interprétation proposée par ces auteurs, seul le renversement de l'asymétrie hémisphérique classique pour le niveau local en cas de dessin hiérarchisé est expliqué directement. Le fait qu'en cas de sélection du niveau global les activations soient plus fortes dans l'HD pour les lettres, mais dans l'HG pour les dessins d'objets n'est qu'une conséquence assez indirecte de la mobilisation de l'autre hémisphère pour des raisons liées à ses compétences pour le traitement d'une catégorie au niveau local. Aussi, dans notre tentative de répliquer des effets observés par Fink et ses collègues, nous espérons surtout répliquer l'inversion de l'asymétrie hémisphérique classique pour le niveau *local* en cas de dessins hiérarchisés.

Enfin, en décrivant l'inversion de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement local des dessins d'objets hiérarchisés comme le fruit d'un processus attentionnel descendant, consistant à moduler l'implication de mécanismes latéralisés selon leur compétence pour la catégorie du matériel, Fink et ses collègues décrivent cette influence comme un processus assez général, qui prédispose les mécanismes de l'un et l'autre hémisphères à s'engager plutôt dans tel ou tel niveau d'analyse. Le fait que cette influence se traduise par une modulation de la latéralisation des activations dans des régions cérébrales sous-tendant des traitements visuels précoces va aussi dans le sens d'une pré-disposition qui serait déterminée une fois pour toute dans l'expérience, et non pas seulement après que la catégorie du matériel ait été identifiée. Cela n'est pas clairement exprimé par les auteurs, mais nous proposons de nous intéresser à ce point dans l'une de nos hypothèses. S'il s'agit bien d'un effet issu d'un processus de contrôle de la distribution des ressources de traitement, alors il s'agit d'une prédisposition qui ne peut s'établir que si le participant connaît à l'avance la catégorie du stimulus hiérarchisé qu'il devra traiter. Autrement dit, si le principe décrit s'exprime grâce à une modulation attentionnelle de haut niveau telle que Fink et ses collègues le pensent, alors elle ne doit pas pouvoir s'exercer si la liste contient un mélange de lettres hiérarchisées et de dessins d'objets hiérarchisés, impropre à la mise en place d'un préajustement de l'engagement des structures cérébrales selon leurs compétences pour le traitement d'une certaine catégorie. Un résultat expérimental obtenu par d'autres chercheurs va dans le sens de cette hypothèse. En effet, aucune inversion de l'asymétrie hémisphérique n'a été constatée dans une épreuve proposant un mélange de stimuli hiérarchisés non-verbaux et de stimuli verbaux (Versace & Tiberghien, 1988). Dans le cas où aucune préparation attentionnelle appropriée à la catégorie des stimuli n'est possible, nous faisons l'hypothèse que, par défaut, l'engagement des mécanismes latéralisés est dirigé par une compétence plus grande de certaines structures de l'HG à traiter les détails et une compétence plus importante de l'HD à se charger de l'aspect global de l'information visuelle.

4. Problématique

Le questionnement à l'origine de notre thèse porte sur les mécanismes cognitifs permettant de traiter des stimuli visuels complexes, contenant des informations situées à différents niveaux de hiérarchie. Selon les contraintes de la situation, il peut s'agir de sélectionner le niveau le plus pertinent pour une analyse efficace ou de passer simplement d'un niveau à l'autre. Dans la partie théorique, nous avons tenté de montrer que cette problématique a donné lieu à un vaste ensemble de recherches, souvent conduites avec des stimuli hiérarchisés construits sur le modèle de ceux qu'utilisait Navon dès son article princeps en 1977. Ces recherches sont généralement organisées autour de deux points, souvent eux-mêmes articulés : le premier concerne d'éventuels rapports de supériorité d'un niveau d'analyse sur l'autre et pose la question des priorités entre des mécanismes de ségrégation et d'intégration, étudiés à travers l'opposition entre niveaux d'analyse local et global ; le deuxième concerne la dominance hémisphérique pour ces traitements et rejoint la question de la complémentarité de mécanismes cognitifs

sous-tendus par des aires cérébrales distinctes.

Pour évoluer de façon adaptée dans un environnement riche tel que le nôtre, la sélection de l'information est une nécessité. Celle-ci permet tour à tour d'échapper aux petits éléments d'information, pourtant parfois très attractifs, pour envisager le tout dans sa globalité, puis être à nouveau attentif aux détails, oubliant « la forêt derrière l'arbre ». Dans la partie théorique, nous avons essayé de montrer que la manière dont cette sélection s'effectue subit des limites imposées par divers facteurs environnementaux (*stimulus-driven*) ou internes (*goal-driven*). L'étude de telles contraintes et des mécanismes mentaux permettant de les dépasser est un objectif fondamental en psychologie cognitive.

Au fil des recherches sur le traitement des stimuli visuels complexes, la façon de poser les questions et d'étudier les hypothèses qui en découlent a profondément évolué. Elle est passée de la description d'étapes de traitement séquentielles, dont la réalisation ne dépendrait que de la qualité physique des stimuli et des caractéristiques du système visuel de bas niveau, à une description centrée sur la notion d'attention sélective. Il est alors question de mécanismes attentionnels associés au traitement de l'un ou l'autre niveau ; cette perspective intègre aussi d'emblée la possibilité de modulations de ces mécanismes par des influences de plus haut niveau.

Cette évolution permet par exemple de s'interroger sur une influence possible des connaissances relatives au contenu du stimulus, notamment la catégorie à laquelle il appartient, sur le traitement des informations situées aux niveaux global et local. Nous avons vu que peu de travaux portent sur ce point, et nous proposons de contribuer à mieux comprendre ce type d'influence de haut niveau. Au moyen de techniques d'imagerie cérébrale, Fink et ses collègues (1996, 1997b) ont observé un effet différent des catégories Lettre et Dessin d'objet sur la latéralisation des activations cérébrales pour le traitement de chaque niveau. L'idée originale est que les dominances hémisphériques associées au traitement d'un stimulus visuel complexe ne seraient pas seulement déterminées par les compétences de mécanismes latéralisés en fonction de leur spécialisation pour l'appréhension d'un certain niveau de l'objet organisé en hiérarchie. Elles le seraient aussi par les compétences de mécanismes, eux aussi latéralisés, mais selon leur spécialisation pour une certaine catégorie de matériel (des lettres, relevant d'une catégorie alphabétique et donc linguistique, impliqueraient des structures de l'HG ; des dessins d'objets impliqueraient plutôt des structures de l'HD).

Notre objectif est de vérifier, au moyen d'une technique non invasive et en relevant des données comportementales, que nos attentes concernant la nature (et pas seulement le niveau) de l'information à venir peut modifier la dominance hémisphérique pour le traitement d'une information située à un certain niveau de l'objet visuel complexe, ceci en particulier pour le niveau local, généralement plus vulnérable. La difficulté potentielle de l'extraction d'information au niveau local pourrait particulièrement motiver la mise en place d'un processus de haut niveau, qui augmente pour ce niveau l'engagement de mécanismes spécialisés dans le traitement de la catégorie concernée, afin de compenser sa fragilité. Nous souhaitons aussi contribuer à augmenter la portée des résultats présentés par Fink et ses collègues (1996, 1997b) en les répliquant dans des conditions différentes : en dehors du fait que la technique dont nous disposons présente beaucoup

de limites et soit sensible à de nombreux biais, la présentation unilatérale en champ visuel divisé est une méthode qui, nous l'avons vu, ne favorise pas l'émergence d'effets d'asymétrie hémisphérique. Aussi, répliquer les effets en question dans de telles conditions confirmerait leur robustesse. De même, nous utilisons des stimuli pour lesquels la difficulté d'identification est la plus équilibrée possible entre les niveaux, de manière à ne pas relier directement les effets de catégorie (attendus en particulier au niveau local) au seul fait que l'information soit plus difficile à extraire à ce niveau dans les stimuli concrètement présentés. Nous pensons en effet que l'interprétation proposée par Fink dépend moins de la difficulté effective d'extraction d'information au niveau local dans les stimuli présentés, que de la tentative de mécanismes de haut niveau de compenser la difficulté inhérente, a priori, au niveau local, étant donné que celui-ci pose généralement plus de difficultés et présente donc une certaine vulnérabilité. Nous proposons également de nous écarter du paradigme d'attention focalisée mis en œuvre dans les expériences de Fink et ses collègues, préférant pour les sept premières expériences (Expériences 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c et 3) le paradigme d'attention divisée. Nous avons vu que celui-ci augmente en effet les chances d'observer des effets d'asymétrie hémisphérique. Cela n'est pas négligeable dans cette recherche, étant données les conditions de présentation unilatérales utilisées et qui, quant à elles, ne favorisent pas l'observation d'indices d'asymétrie hémisphérique. Dans une dernière expérience réalisée auprès de jeunes adultes (Expérience 4), nous proposons tout de même de mettre en œuvre le paradigme d'attention focalisée, comme Fink et ses collègues. Enfin, à partir de l'ensemble des sept premières expériences, nous testerons si la modulation exercée par la catégorie sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux dépend d'un mécanisme de haut niveau, mis en place pour l'ensemble de l'expérience, à partir de la certitude du sujet concernant la catégorie du stimulus à venir. Il s'agira donc de montrer que cette modulation n'est pas déterminée par l'identification de la catégorie du stimulus présenté, mais qu'elle est issue d'un processus plus général, pré-disposant le système cognitif à engager les mécanismes sous-tendus soit par l'HD, soit par l'HG, en fonction non seulement de leurs compétences pour le traitement des niveaux, mais aussi pour certains contenus. Pour cela, nous testerons l'effet de la présentation de stimuli d'une même catégorie dans des blocs séparés, ne laissant aucun doute quant à la catégorie du stimulus à venir, par rapport à une présentation aléatoire de lettres hiérarchisées et de dessins d'objets hiérarchisés.

L'évolution de la façon de poser les problèmes dans le domaine des recherches sur les stimuli hiérarchisés va aussi de paire avec la découverte d'une multiplicité de mécanismes attentionnels impliqués dans l'analyse de tels objets visuels. Dans une théorie récente, Hübner & Volberg (2005) parlent par exemple d'une séparation entre un mécanisme d'identification des unités situées aux niveaux global et local, et un mécanisme attentionnel associant l'identité de chacune à son niveau respectif (*binding*). D'autres mécanismes cognitifs contribuent encore à l'analyse d'un stimulus hiérarchisé. Selon les demandes de la tâche, la sélection d'un niveau peut intervenir, de même que l'inhibition d'informations. Selon les biais imposés par les caractéristiques physiques du stimulus, par les contraintes de la tâche, par la variabilité des distracteurs ou encore par le contexte des traitements précédemment réalisés, certains mécanismes attentionnels peuvent devenir indispensables. C'est le cas du processus de *switching*, qui permet le

passage d'un niveau d'analyse à l'autre. Ce dernier processus est souvent mobilisé dans les activités quotidiennes, pour passer de la prise en compte de l'ensemble d'une scène à la concentration sur un détail, pour bien souvent intégrer ensuite ce dernier, à nouveau, dans le contexte.

Ce processus est intéressant, à double titre, dans une perspective choisissant d'étudier le traitement de stimuli visuels complexes en terme d'attention visuo-spatiale. En effet, par définition, le processus de *switching* est d'ordre attentionnel ; de plus, il peut lui-même faire l'objet d'une modulation imposée par des contraintes issues de haut niveau. Nous étudierons ainsi comment ce processus peut varier en fonction du contexte constitué par le mode d'analyse préalablement utilisé de façon répétitive. C'est ce que permet d'aborder l'effet du nombre de répétitions de traitements à un certain niveau, avant le changement de niveau nécessaire au traitement d'un stimulus cible.

Pour étudier ce processus de changement de niveau, nous proposons tout d'abord de l'appréhender comme un ensemble constitué de mécanismes variés. Il impliquerait non seulement un *engagement* préalable de l'attention, mais aussi une opération que nous appelons *désélection*, permettant d'inhiber les mécanismes associés au mode de traitement devenu inapproprié, avant d'effectuer l'opération de *passage* vers l'autre niveau. Notre objectif est de défendre la description du processus de changement de niveau par ces différentes composantes. Nous tenterons pour cela de montrer que ces dernières impliquent des supports neuro-anatomiques en partie distincts. Compte tenu des limites inhérentes à la technique de présentation en champ divisé, et en nous basant sur les résultats de quelques travaux ayant apporté des indices à ce sujet (notamment Wilkinson et al., 2001), nous posons simplement l'hypothèse que le processus de changement de niveau fait l'objet, dans son ensemble, d'une dominance de l'HG, mais que l'opération de désélection est, quant à elle, réalisée plus efficacement si l'information est plus directement adressée à l'HD qu'à l'HG. Cette hypothèse présente une certaine cohérence avec le rôle connu de l'HD dans divers mécanismes inhibiteurs. Si nous observions des effets conformes à cette hypothèse dans nos expériences, ils seraient compatibles avec l'hypothèse plus générale d'une certaine indépendance de l'opération de désélection dans le processus de changement de niveau.

Pour étudier cette opération de façon sélective, nous proposons de faire varier une caractéristique de la situation propre à rendre cette opération plus ou moins difficile à réaliser. Nous pensons que l'utilisation répétitive d'un mode d'analyse constant accroît l'engagement dans ce mode de traitement et rend ensuite son inhibition plus difficile, ce qui devrait affecter sélectivement l'opération de désélection. Notre hypothèse est donc tout d'abord que les performances pour traiter un stimulus nécessitant un changement de niveau peuvent être modulées par le contexte des modes de traitement préalablement utilisés. De plus, une compétence particulière de l'HD pour gérer ce type de difficulté pourrait témoigner de la latéralisation hémisphérique des supports neuro-anatomiques de l'opération de désélection, ce qui contribuerait à concevoir cette opération comme relativement spécifique au sein du processus de changement de niveau.

Au final, le **Chapitre 1** de cette thèse est consacré à de jeunes adultes sans pathologie particulière, testés dans 8 expériences différentes, et il est guidé par les hypothèses principales suivantes.

- **Hypothèse 1** : La dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local de stimuli hiérarchisés n'est pas seulement déterminée par l'implication de mécanismes cognitifs dont les supports neuro-anatomiques sont latéralisés selon leur compétence pour le traitement de l'un ou l'autre niveau de complexité. Les phénomènes de dominance hémisphérique dans ces traitements peuvent en partie s'expliquer par un processus de haut niveau qui vise à compenser la vulnérabilité du traitement du niveau local en donnant priorité, pour le traitement de ce niveau, à des mécanismes spécialisés dans le traitement d'une certaine catégorie de stimuli : il s'agit de mécanismes impliquant des régions latéralisées dans l'HG pour les catégories linguistiques (e.g., des lettres) et dans l'HD pour les dessins d'objets. C'est ce que testeront les Expériences 1a et 2a, présentant des lettres hiérarchisées, les Expériences 1b et 2b, présentant des dessins d'objets hiérarchisés, ainsi que l'Expérience 3 présentant elle aussi des lettres hiérarchisées et des dessins d'objets hiérarchisés dans des blocs séparés, mais testés de manière intra-individuelle.
- Aussi, selon l'**hypothèse 1a**, le traitement local dans une expérience présentant des dessins d'objets hiérarchisés devrait donner lieu à une dominance de l'HD, alors que le traitement local dans une expérience présentant des lettres hiérarchisées devrait donner lieu à une dominance de l'HG.

Le processus de haut niveau responsable de cette modulation de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement local selon la catégorie du matériel est une préparation attentionnelle qui *prédispose* le fonctionnement du système visuel à engager les mécanismes de tel hémisphère plutôt que de tel autre au niveau local. Autrement dit, il ne s'agit pas d'un processus intervenant lors d'une étape de traitement tardive du stimulus, une fois que sa catégorie a été identifiée. Il ne dépendrait donc pas de la catégorie effective du stimulus hiérarchisé lui-même, mais de la certitude que s'est forgé le sujet à propos de l'homogénéité de la catégorie de tous les objets à traiter dans l'ensemble d'une situation. L'établissement de cette préparation attentionnelle ne serait donc possible que si le sujet connaît à l'avance la catégorie du stimulus à traiter. C'est ce que proposent de tester les Expériences 1c et 2c, constituées d'une liste mêlant des lettres hiérarchisées et des dessins d'objets hiérarchisés, par opposition aux Expériences 1a, 1b, 2a et 2b, dont les listes présentent chacune des stimuli de catégorie homogène.

- L'**hypothèse 1b** propose donc que, lorsque la catégorie du stimulus à venir n'est pas connue à l'avance, par exemple à cause d'une présentation aléatoire de lettres hiérarchisées et des dessins d'objets hiérarchisés dans une même série, l'établissement d'une prédisposition de l'engagement de mécanismes cognitifs latéralisés selon leurs compétences pour les catégories ne peut s'établir. Dans ce cas, par défaut, la dominance hémisphérique est déterminée uniquement par l'implication de mécanismes latéralisés pour leur compétence dans le traitement d'un certain niveau d'analyse, et nous prédisons alors une dominance de l'HG pour le traitement du niveau local et une dominance de l'HD pour le traitement du niveau global, quelle que soit la catégorie du stimulus.

Nous pensons par contre que cette préparation attentionnelle est possible non seulement dans les situations où le sujet focalise son attention sur un même niveau pendant toute une série de traitements, mais aussi lorsqu'il change fréquemment de niveau d'un item à l'autre. En effet, pour un niveau donné (essentiellement le niveau local), la préparation attentionnelle consisterait à prédisposer de manière générale le système cognitif visuel à mobiliser des mécanismes latéralisés dans l'HG pour une catégorie linguistique et dans l'HD pour des dessins d'objets, que la cible soit finalement située à ce niveau local ou à l'autre niveau. Cela témoignerait encore du fait qu'il s'agit bien d'une préparation attentionnelle et non d'un processus attentionnel tardif : il interviendrait non seulement avant l'identification de la catégorie du stimulus, mais aussi avant la découverte du niveau auquel se situe la cible.

- Aussi, l'**hypothèse 1c** propose que, au niveau local, la dominance de l'HG pour les lettres et celle de l'HD pour les dessins d'objets est observable dans des épreuves d'attention divisée, aussi bien qu'elles l'ont été par Fink et ses collègues (1996, 1997b) dans des épreuves d'attention focalisée.

De même, nous pensons que cette modulation attentionnelle exercée à partir d'un processus de haut niveau ne se fonde pas sur la difficulté effective de l'extraction d'information au niveau local des stimuli concrètement présentés. Autrement dit, nous pensons que, pour que cette modulation s'exerce, il n'est pas nécessaire d'avoir constaté qu'il est véritablement plus difficile, dans la situation, de traiter l'information au niveau local. Le système cognitif se baserait plutôt sur une règle ayant établi, à partir d'une certaine quantité d'expériences perceptives antérieures, que l'information située à ce niveau est potentiellement difficile à traiter.

- C'est pourquoi, selon l'**hypothèse 1d**, nous pensons répliquer les effets de modulation de l'asymétrie hémisphérique par la catégorie au niveau local, même lorsque la saillance de l'information est équilibrée entre les niveaux local et global.

Le processus de haut niveau consistant à prédisposer l'engagement de mécanismes latéralisés selon les catégories pour optimiser le traitement du niveau local, à cause de sa vulnérabilité, pourrait avoir des retentissements sur l'engagement de mécanismes pour le traitement au niveau global. Fink et ses collègues (1997b) ont évoqué cela pour expliquer l'inversion de dominance hémisphérique qu'ils observent pour le traitement du niveau global en cas de dessins plutôt que de lettres hiérarchisées. L'hémisphère dont les mécanismes ne sont pas engagés dans le traitement du niveau local resterait le plus disponible pour traiter le niveau global. Ainsi, dans le cas de lettres hiérarchisées, la forte implication de l'HG dans le traitement local laisserait l'HD disponible pour le traitement global, alors que dans le cas de dessins d'objets hiérarchisés, la mobilisation de l'HD pour des mécanismes de traitement appliqués au niveau local laisserait davantage l'HG disponible pour le traitement du niveau global. Etant donné que cette interprétation est plus indirecte que celle proposée pour la modulation de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement du niveau local, et que cet effet sur le niveau global n'a pas été répliqué (Bedson & Turnbull, 2002), notre prédiction à ce sujet est plus prudente.

- Aussi, l'**hypothèse 1e** propose qu'une modification de la dominance hémisphérique classique pour le traitement du niveau global peut accompagner la présentation d'une série de dessins hiérarchisés, mais ceci de façon moins marquée que l'inversion de la dominance hémisphérique au niveau local.

Enfin, les indices de dominance hémisphérique étant très vulnérables à de multiples biais, en particulier lorsque la technique de présentation unilatérale en champ visuel divisé est utilisée, nous tenterons d'améliorer la qualité de la première série d'épreuves (Expériences 1a, 1b et 1c) en supprimant l'un de ces biais. Les stimuli expérimentaux pour lesquels nous relevons les performances dans ces premières expériences nécessitent tous un changement de niveau, mais aussi un changement de réponse (la cible diffère entre l'item n et l'item $n - 1$). Cela pourrait accroître la difficulté de l'épreuve, mais aussi augmenter l'implication de mécanismes tardifs de sélection de la réponse et de programmation motrice, qui ne nous intéressent pas particulièrement dans cette recherche et dont les supports neuro-anatomiques sont latéralisés : ils pourraient donc masquer l'effet des autres mécanismes latéralisés (pour leur compétence dans le traitement de catégories ou de niveaux particuliers) qui sont l'objet de notre recherche. En supprimant cette caractéristique dans les Expériences 2a, 2b et 2c, nous espérons pe étudier dans cette thèse.

Le choix d'utiliser le paradigme d'attention divisée pour les Expériences 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c et 3 était motivé par deux raisons. La première est le souhait de se placer dans des conditions qui favorisent l'observation d'indices de dominance hémisphérique, car nous avons montré dans la partie théorique que cette procédure est pour cela plus favorable que celle employée dans le paradigme d'attention focalisée. La deuxième était le souhait de répliquer les effets observés par Fink et ses collègues (1996, 1997b) dans une autre situation expérimentale, afin d'augmenter leur portée. Nous complétons cependant ce premier ensemble d'épreuves par l'Expérience 4 qui propose une tâche d'attention focalisée sur un même niveau pendant chacun des blocs de l'épreuve. Nous avons vu que la focalisation sur un niveau, induite par la consigne, réduit généralement les effets de dominance hémisphérique pour le traitement des stimuli hiérarchisés, car les mécanismes sous-tendus par l'un et l'autre hémisphères s'engageraient dans ce cas massivement dans le traitement du niveau pertinent, que cela relève de leur plus grande compétence ou pas. Malgré cela, nous espérons relever quand même dans ces conditions, mais sans doute de manière plus discrète, les indices d'une modulation exercée par la catégorie sur le traitement des niveaux global et local des stimuli hiérarchisés, la catégorie étant dans cette épreuve homogène à l'intérieur de chaque bloc. remettre de faire émerger plus facilement les effets de dominance hémisphérique.

- L'**hypothèse 1f** propose donc que, dans une épreuve d'attention focalisée sur un même niveau (global ou local) pendant chaque bloc, avec des stimuli de catégorie homogène dans chaque bloc, le traitement du niveau local fera l'objet d'une dominance de l'HG pour les lettres hiérarchisées et d'une dominance de l'HD pour les dessins d'objets hiérarchisés, avec des tendances opposées pour le traitement du niveau global.

Les épreuves d'attention focalisée donnent en outre l'occasion d'étudier un autre aspect attentionnel des traitements impliqués dans l'analyse de stimuli visuels complexes : la capacité d'inhibition du niveau désigné comme non pertinent par la consigne. Sur ce point, nous avons montré dans la partie théorique qu'un effet d'asymétrie de l'interférence est classiquement observé : il est normalement plus difficile à un adulte d'inhiber l'information et/ou les mécanismes spécifiques au traitement du niveau global que l'information et/ou les mécanismes spécifiques au traitement du niveau local. Nous vérifierons ce point dans l'Expérience 4, pour montrer que ce phénomène se produit même si les niveaux de difficulté de traitement de l'information sont relativement bien équilibrés entre les niveaux.

- Selon l'**hypothèse 1g**, et en conformité avec les données de la littérature, nous attendons donc un effet négatif de la présence d'une information concurrente vis à vis de la réponse (i.e., piège), située au niveau que la consigne désigne comme ne devant pas être pris en compte, cet effet négatif étant plus marqué si le piège est issu du niveau global que s'il est issu du niveau local.
- **Hypothèse 2** : dans une perspective abordant la question du traitement des aspects global et local d'un stimulus visuel complexe sous l'angle de l'attention visuo-spatiale, le processus de changement de niveau l'analyse (ou *switching* entre niveaux global et local) paraît intéressant. Bien que des chercheurs l'aient récemment étudié, tous s'accordent à le reconnaître comme complexe et encore largement mal compris. Peu d'entre eux l'abordent selon une approche componentielle, et nous voudrions défendre l'idée selon laquelle l'étude du processus de *switching* entre niveaux gagnerait à être conduite en précisant les opérations impliquées. Sur ce point, notre hypothèse générale est que le processus de changement de niveau implique non seulement une opération de passage d'un niveau à l'autre (par analogie avec l'opération de déplacement de l'attention dans le contexte de l'orientation visuo-spatiale), mais aussi une opération de *désélection* du mode d'analyse devenu inapproprié (par analogie cette fois avec l'opération de désengagement décrite notamment par Posner dans le domaine de l'orientation visuo-spatiale) et mode d'analyse dans lequel le système cognitif s'était préalablement plus ou moins fermement engagé. Cette hypothèse sera déclinée en deux propositions :
 - Selon l'**hypothèse 2a**, la difficulté à traiter un stimulus hiérarchisé pour lequel un changement de niveau d'analyse est nécessaire est accrue par l'intensité de l'engagement préalable dans un autre mode d'analyse, devenu non pertinent. L'intensité de cet engagement préalable serait plus forte si un même mode de traitement a été successivement utilisé à 4 reprises plutôt qu'à 2 reprises, avant le changement de niveau, et cela se traduira par de moins bonnes performances pour le traitement du stimulus nécessitant un changement de niveau. Cette hypothèse sera testée dans les Expériences 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c et 3.
 - Selon l'**hypothèse 2b**, l'opération de désélection d'un mode de traitement impliquerait des structures cérébrales de l'HD, sans doute à cause de l'implication de mécanismes d'inhibition. Un avantage général de l'HG est attendu pour

l'ensemble du processus de changement de niveau, d'après quelques éléments issus d'autres recherches sur le sujet, et cette part de l'hypothèse sera testée dans l'Expérience 3. En revanche, nous attendons des indices d'une meilleure compétence de l'HD pour effectuer le changement de niveau lorsque la difficulté de l'opération de désélection s'accroît, par exemple à cause d'une augmentation du nombre de répétitions des traitements à un autre niveau avant le changement. Ce deuxième point de l'hypothèse sera testé le plus directement dans l'Expérience 3, mais nous recueillerons d'éventuels indices à ce sujet également dans les Expériences 1a-1b et 2a-2b.

- Dans le **Chapitre 2**, nous testerons l' **Hypothèse 3** relative à la mise en place progressive des phénomènes de modulation exercée par les catégories Lettre et Dessin d'objet sur la dominance hémisphérique pour les traitements global et local des stimuli hiérarchisés, chez des enfants développant une expertise croissante en lecture. Il s'agira d'enfants ayant un niveau de lecture situé dans la norme, scolarisés en CP, CE2 et CM2. Nous les testerons avec une épreuve de discrimination de cible dans des stimuli hiérarchisés, avec une procédure d'attention divisée dans l'Expérience 5.
- L'**hypothèse 3a** prédit qu'il est possible de relever chez des enfants, dès l'âge de 6 ans, des indices de dominance de l'HG pour le traitement du niveau local, s'opposant à une dominance de l'HD pour le traitement global.
- L'**hypothèse 3b** attend l'apparition progressive d'une modulation progressive de cette dominance hémisphérique, au départ uniquement déterminée par les compétences de mécanismes latéralisés selon le niveau qu'ils traitent plus efficacement. Cette modulation prendrait de plus en plus en compte le contenu du stimulus hiérarchisé : s'il s'agit de lettres hiérarchisées, la spécialisation de l'HG pour le niveau local et celle de l'HD pour le niveau global devrait se maintenir, voire s'accroître, alors que pour des dessins d'objets hiérarchisés, le niveau local devrait progressivement faire l'objet d'une dominance de l'HD et, éventuellement, le niveau global devrait quant à lui connaître une réduction de la dominance de l'HD et éventuellement donner lieu à une dominance de l'HG.
- L'**hypothèse 3c** propose aussi que l'avancée en âge de l'enfant pendant la période d'école primaire, lors de laquelle l'expertise en lecture s'accroît et la familiarisation avec la catégorie Lettre s'accroît, s'accompagne d'une amélioration progressive des performances plus nette pour le traitement des lettres hiérarchisées que pour celui des dessins d'objets hiérarchisés. Etant donné que les enfants apprennent aussi, pendant cette période, à traiter les lettres en tant que détails d'un objet (le mot écrit), cette amélioration du traitement des lettres pourrait être particulièrement marquée lorsqu'elles doivent être traitées au niveau local de stimuli hiérarchisés.

En outre, dans l'Expérience 6, nous proposerons à des groupes d'enfants (mêmes tranches d'âge que ceux de l'Expérience 5) l'épreuve utilisée auprès d'adultes dans

l'Expérience 4, avec la procédure d'attention focalisée à un niveau constant pendant chaque bloc. Elle permettra d'étudier si la capacité à inhiber une information non pertinente se développe à des rythmes distincts selon le niveau d'analyse visé par ce mécanisme d'inhibition. La partie théorique du Chapitre 2 montrera que les capacités de traitement de l'un et l'autre niveaux ne se développent apparemment pas au même rythme ; notre hypothèse propose que les mécanismes d'inhibition se développent eux aussi à des rythmes différents selon le niveau concerné.

- L'**hypothèse 3d** propose donc que, entre 6 et 10 ans, les enfants améliorent progressivement leurs capacités à inhiber l'information non pertinente dans un stimulus visuel complexe. Toutefois, alors que la capacité à inhiber une information située au niveau global (lorsque l'attention est focalisée au niveau local) arrive rapidement à maturité, les enfants s'affranchiraient plus progressivement de l'interférence issue du niveau local, en développant cette compétence pendant une période certes plus longue de l'enfance, mais conduisant ce mécanisme d'inhibition des détails à un meilleur niveau d'efficacité que celui du mécanisme d'inhibition de la forme globale.
- Dans le **Chapitre 3**, nous essaierons de montrer qu'au-delà de l'apport potentiel, et modeste, de quelques éléments à l'ensemble des recherches fondamentales développées à propos du traitement de stimuli visuels complexes, ces recherches peuvent aussi conduire à poser des hypothèses nouvelles concernant les déficits cognitifs à l'origine de difficultés persistantes d'apprentissage de la lecture. Dans une perspective résolument pluraliste de l'étude de la dyslexie développementale, nous poserons ainsi l' **Hypothèse 4** de déficits cognitifs distincts à l'origine de deux types de dyslexie chez l'enfant : une forme dans laquelle les difficultés d'apprentissage de la lecture sont associées à d'importants troubles phonologiques et une autre forme dans laquelle ces troubles phonologiques ne sont pas détectés avec les bilans, pourtant complets, réalisés dans les Centres Référents de diagnostic de la dyslexie. Sans réduire l'origine de l'un et l'autre types de dyslexie aux seuls déficits dont nous cherchons à montrer l'existence, nous testerons tout d'abord, dans les Expériences 7 et 8, la présence d'une anomalie quant à l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet, avec l'hypothèse qu'elle ne concerne que les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique majeur. Par suite, contrairement aux enfants dyslexiques sans déficit phonologique, il ne devrait pas se produire de modulation de la dominance hémisphérique pour les traitements global et local selon la catégorie des stimuli hiérarchisés (lettres ou dessins d'objets) chez les enfants dyslexiques présentant un déficit phonologique.
- Selon l'**hypothèse 4a**, les enfants dyslexiques atteints d'un trouble phonologique majeur devraient présenter des anomalies de la dominance hémisphérique pour le traitement des lettres et des dessins d'objets. Plus précisément, étant donnée la nature phonologique et linguistique de leur déficit, ils pourraient ne pas avoir établi de spécialisation hémisphérique gauche spécifique au traitement des lettres, en tant que matériel alphabétique et donc *linguistique*, par opposition à des dessins

d'objets, certes nommables, mais véhiculant moins directement une connaissance de nature verbale.

- **L'hypothèse 4b** prédit que, chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique important, l'anomalie supposée dans l'hypothèse 4a est associée à une absence de modulation de la dominance hémisphérique pour les traitements global et local d'un objet visuel complexe par la catégorie du matériel, alors que des enfants dyslexiques de même âge lexique et de même âge chronologique mais dénués de trouble phonologique pourraient réaliser ce type de modulation, sur le modèle des personnes lisant sans difficulté particulière.

Dans l'Expérience 8, nous testerons la présence d'un déficit que nous pensons spécifique aux enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble phonologique, sans prétendre toutefois que ce déficit soit présent chez tous les enfants dyslexiques pour lesquels aucun trouble phonologique ne permet d'expliquer les difficultés. Il s'agit d'un déficit d'attention visuo-spatial précis, qui consisterait en une difficulté spécifique à inhiber l'information issue des détails dans un stimulus visuel complexe, compétence qui, nous le verrons dans nos expériences sur les enfants, se met en place lentement. En proposant 4 blocs, permettant de présenter des lettres hiérarchisées (l'un avec focalisation au niveau global, l'autre au niveau local) et des dessins d'objets hiérarchisés (l'un avec focalisation au niveau global, l'autre au niveau local), l'Expérience 8 permet de tester les hypothèses sur les deux catégories de matériel.

- **L'hypothèse 4c** propose donc que, lorsqu'ils doivent focaliser leur attention au niveau global d'un stimulus hiérarchisé, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique subissent une interférence particulièrement forte venant d'une information concurrente située au niveau local. Cela devrait se manifester par une disparition de l'asymétrie classique de l'interférence chez ces enfants, voire par une inversion de cette asymétrie, alors que des enfants dyslexiques avec trouble phonologique de même âge lexique et de même âge chronologique devraient présenter l'asymétrie de l'interférence classique (i.e., perturbation plus forte par l'information non pertinente issue du niveau global que par celle qui provient du niveau local).
- **L'hypothèse 4d** énonce que ce déficit particulier aux enfants dyslexiques sans trouble phonologique relève d'un dysfonctionnement de l'attention visuo-spatiale, et qu'il se manifeste donc tant pour le traitement de dessins hiérarchisés que pour celui de lettres hiérarchisées.

L'Expérience 8 propose de détecter et de différencier, grâce à une épreuve unique, le déficit que notre hypothèse 4a associe à la dyslexie avec trouble phonologique, d'une part, et le déficit dont l'hypothèse 4c prédit le lien avec la dyslexie sans trouble phonologique, d'autre part. L'élaboration de cette dernière épreuve est motivée non seulement par le souci de tester nos hypothèses théoriques, mais aussi de proposer un outil susceptible de contribuer à l'affinement du diagnostic du type de dyslexie, en termes de déficits cognitifs. Nous espérons ainsi contribuer à orienter la prise en charge de l'enfant et à ouvrir de nouvelles pistes de rééducation, encore particulièrement rares pour

les enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble phonologique majeur.

Expériences 1a et 1b

Les Expériences 1a et 1b constituent une première tentative dans notre thèse pour répliquer le phénomène de modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour les traitements global et local de stimuli hiérarchisés, tel que relaté par Fink et ses collègues (1996, 1997b). Ces derniers ont pu en particulier mettre en évidence que la dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local n'était pas entièrement déterminée par la latéralisation de mécanismes cognitifs spécialisés pour le traitement de certains niveaux d'analyse, mais qu'elle pouvait aussi être fonction d'un processus de haut niveau, conduisant à engager préférentiellement pour le traitement du niveau local, potentiellement plus difficile, des mécanismes spécialisés dans l'identification d'information d'une certaine catégorie.

Ces Expériences 1a et 1b tentent de recueillir les indices de tels effets, déterminés par le contenu de l'information, en examinant de simples données comportementales, à partir d'épreuves présentant rapidement et unilatéralement des stimuli hiérarchisés en champ visuel divisé. Une autre particularité de ces expériences est le paradigme utilisé : il s'agit cette fois d'une situation où les sujets ne savent pas à quel niveau la cible apparaîtra (paradigme d'attention divisée), alors que les participants étaient invités à focaliser leur attention sur un même niveau pendant un bloc complet dans les expériences de Fink et ses collègues (paradigme d'attention focalisée). Les effets devraient être maintenus malgré cette différence, si la modulation exercée en fonction du contenu des informations est le fruit d'un processus de haut niveau, qui prédispose en amont l'engagement de mécanismes latéralisés pour le traitement de l'un et l'autre niveaux, sans attendre de certitude quand au niveau auquel la cible apparaît vraiment. S'il s'agit bien d'un effet reposant sur un processus de haut niveau, cette modulation par la catégorie des stimuli doit aussi s'effectuer malgré l'équilibre de la saillance perceptive des informations que nous avons essayé d'instaurer entre les niveaux global et local dans ces expériences : le processus de haut niveau guidant l'engagement des mécanismes latéralisés serait alors basé sur une règle fondée sur la vulnérabilité *potentielle* de l'information au niveau local, et non sur le constat de la difficulté qu'elle pose. Enfin, nous avons vu que la dominance hémisphérique au niveau global est modulée par la catégorie du matériel dans les expériences de Fink et ses collègues (1996, 1997b), mais cet effet au niveau global n'a pas été répliqué dans d'autres travaux (Bedson & Turnbull, 2002), et nous avons vu que son explication est assez indirecte. Aussi, pour les cibles de niveau global, il se peut que la dominance hémisphérique varie selon la catégorie du matériel, mais cette manifestation de l'intervention d'un processus de haut niveau, visant essentiellement à compenser la fragilité de l'information au niveau local, pourrait être moins marquée que pour le niveau local. Le premier ensemble d'hypothèses opérationnelles est donc le suivant :

- **Hypothèse opérationnelle 1a** : pour des cibles situées au niveau local, les performances (temps de réponse et exactitude des réponses) devraient être meilleures en CVD-HG qu'en CVG-HD pour les lettres hiérarchisées (Expérience 1a), mais meilleures en CVG-HD qu'en CVD-HG pour les dessins d'objets hiérarchisés ;
- **Hypothèse opérationnelle 1c** : cet effet devrait être présent malgré l'utilisation d'un paradigme d'attention divisée, différent de celui de Fink et ses collègues (1996, 1997b) ;
- **Hypothèse opérationnelle 1d** : cet effet devrait être également présent malgré l'équilibre de la saillance perceptive entre les niveaux.
- **Hypothèse opérationnelle 1e** : pour les cibles situées au niveau global, la dominance hémisphérique pourrait aussi varier selon la catégorie du matériel, avec notamment une disparition de la dominance de l'HD pour des dessins hiérarchisés (des mécanismes reposant sur cet hémisphère étant largement engagés dans le traitement du niveau local), alors qu'une dominance de l'HD pourrait persister au niveau global pour les lettres hiérarchisées.

L'autre objectif de ces deux premières expériences est de répliquer l'influence négative de l'augmentation du nombre de répétitions de traitement à un même niveau d'analyse avant un changement de niveau (*switch*). Cet effet pourrait affecter plus particulièrement une composante du processus de changement de niveau : la désélection du mode de traitement précédent, qui impliquerait un mécanisme d'inhibition. Cette opération pourrait être étudiée sélectivement et, au sein du processus de changement de niveau connu pour impliquer des structures de l'HG, elle aurait la particularité d'être réalisée plus efficacement par un mécanisme sous-tendu par l'HD. A ce sujet, notre deuxième ensemble d'hypothèses opérationnelles se décline comme suit :

- **Hypothèse opérationnelle 2a** : la discrimination d'une cible dans un stimulus demandant un changement de niveau susciterait de moins bonnes performances si ce changement intervient après 4 répétitions d'un autre niveau d'analyse plutôt qu'après 2 répétitions
- **Hypothèse opérationnelle 2b** : ce coût devrait moins perturber les performances pour les stimuli présentés en CVG-HD que pour ceux présentés en CVD-HG.

1. Méthode de l'Expérience 1a

1.1. Participants (Expérience 1a)

Trente-deux étudiants en Psychologie de l'Université Lyon 2 ont participé à l'expérience. Il s'agit de 22 garçons et 10 filles, avec une moyenne d'âge de 22.63 ans (écart-type = 1.35). Tous ont une vue normale ou corrigée. Ils sont tous droitiers, avec un score supérieur ou égal à 80% de réponses désignant la main droite dans une version abrégée du test d'Edinburgh (Oldfield, 1971). Ils ont rempli un formulaire de consentement et ont reçu un crédit de 0.5 point pour un examen.

1.2. Stimuli (Expérience 1a)

Chaque stimulus hiérarchisé est une grande lettre (niveau global) constituée de petites lettres (niveau local) toujours différentes de cette grande lettre (voir Figure 3). La lettre globale s'étend sur 3.8° d'angle visuel en largeur et 4° en hauteur. Chaque lettre locale fait 0.35° d'angle visuel en largeur et 0.4° en hauteur. Les stimuli sont inscrits en noir sur fond blanc. Les lettres, aux niveaux local et global, sont les suivantes : M, E, H, T et A. Les lettres E et M constituent les cibles et peuvent apparaître soit au niveau global, soit au niveau local.



Figure 3. Exemple de lettre hiérarchisée (E au niveau global et A au niveau local) dans l'Expérience 1a.

L'ensemble de la liste comporte 168 stimuli (48 items expérimentaux et 120 distracteurs). Ils sont répartis en 2 blocs (A et B), de sorte que tout stimulus qui apparaît en Champ Visuel Droit (CVD) dans l'une des listes apparaisse en Champ Visuel Gauche (CVG) dans l'autre liste, et vice-versa. La moitié des sujets réalise l'épreuve sur le bloc A, puis le bloc B ; les autres la réalisent dans l'autre sens. Dans l'ensemble de la liste, 50% des stimuli apparaissent dans le champ visuel gauche (CVG - HD), 50% dans le champ visuel droit (CVD - HG), sans régularité particulière, une série de stimuli successifs du même côté ne dépassant néanmoins pas trois items. Un même nombre de stimuli contiennent une cible au niveau global et au niveau local et les cibles E et M sont réparties en proportions équivalentes entre les niveaux. Il en est de même pour le sous-ensemble des 48 stimuli expérimentaux : 24 contiennent la cible au niveau global et 24 au niveau local. De plus, pour chacun de ces ensembles de 24 stimuli, 50% sont présentés à gauche et 50% dans le champ visuel droit. Par ailleurs, un stimulus expérimental est toujours précédé d'un stimulus distracteur qui ne contient pas la même cible et dans lequel la cible est située à un autre niveau. Ainsi, la différence entre un stimulus expérimental et le stimulus précédent correspond à un changement de niveau et de réponse, mais pas de champ visuel. Enfin, comme l'indique le Tableau 1, 50% des stimuli expérimentaux sont précédés de 2 stimuli pour lesquels la cible est à un niveau différent (condition : 2 répétitions avant le changement de niveau), et 50% sont précédés de 4 stimuli pour lesquels la cible est à un niveau différent (condition : 4 répétitions avant le changement de niveau). Chacune des 8 conditions expérimentales résumées dans le tableau 1 est représentée par 6 items et est représentée à proportions égales par les cibles E et M. Il y a une compatibilité entre le côté d'apparition de la cible et le côté de la

touche de réponse pour 50% des items de chaque condition.

Variables indépendantes								
Niveau de la cible	Global				Local			
Hémichamp visuel	gauche		droit		gauche		droit	
Nombre de répétitions avant le changement de niveau	2	4	2	4	2	4	2	4

Tableau 1. Tableau des conditions expérimentales des Expériences 1a, 1b, 2a et 2b

1.3. Matériel et Procédure (Expérience 1a)

L'expérience s'est déroulée dans une salle insonorisée du Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs, chaque participant étant testé de façon individuelle avec un ordinateur portable Macintosh iBook. Chaque sujet, testé individuellement, était assis à 57 cm de l'écran. L'expérience a été élaborée avec le logiciel PsyScope (Cohen, McWhinney, Flatt, & Provost, 1993). Pour chaque essai, le participant voit d'abord apparaître le point de fixation au centre de l'écran (un signe « égal » = couvrant 0.6° d'angle visuel), 1500 millisecondes (ms) après la réponse précédente. Ce point reste à l'écran pendant 975 ms. Pendant les 175 dernières ms de présentation de ce point de fixation (c'est-à-dire 800 ms après l'apparition du signe =), le stimulus hiérarchisé apparaît dans l'un des hémichamps visuels. Ainsi, le point de fixation reste à l'écran en présence de la cible. L'extrémité du stimulus la plus proche du centre de l'écran est distante de 2° d'angle visuel de ce point de fixation. Le participant a pour consigne de fixer son regard sur le signe = pendant toute la durée de l'expérience et d'effectuer une tâche de discrimination : il décide si le stimulus contient un E ou un M, que ce soit au niveau local ou au

niveau global (tâche de discrimination). Il doit indiquer sa réponse en appuyant avec l'un de ses deux index sur l'une des deux touches désignées à cet effet, l'une correspondant à la lettre M (index droit), l'autre à la lettre E (index gauche). Il est prévenu que chaque stimulus contient bien l'une de ces lettres mais jamais les deux à la fois. Il est invité à répondre le plus rapidement possible, tout en s'efforçant de donner une réponse exacte et il est informé de l'enregistrement de sa réponse et de sa vitesse par l'ordinateur. Les stimuli sont répartis en 6 blocs, contenant chacun un représentant de chaque condition expérimentale (8 items) et 20 distracteurs. Cinq pauses sont proposées. Après la présentation d'une série de 8 exemples sur papier, avec décision formulée verbalement, l'expérience commence par une série de 12 essais et dure environ 20 minutes.

1. Méthode de L'expérience 1b

1.1. Participants (Expérience 1b)

Trente-deux étudiants de licence de Psychologie à l'Université Lyon 2, différents de ceux ayant passé l'Expérience 1a, ont participé à l'Expérience 1b. Cette participation leur donnait droit à 0.5 points pour un examen. Le groupe de sujets est constitué de 22 filles et de 10 garçons dont la moyenne d'âge est de 22.6 ans (écart-type = 2.2). Ils sont tous droitiers (plus de 80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh) et ont une vue normale ou corrigée. Ils ont rempli un formulaire de consentement.

1.2. Stimuli (Expérience 1b)

Chaque stimulus hiérarchisé est un grand dessin (niveau global) constitué de petits dessins (niveau local) différents du grand dessin. Au niveau global, le dessin fait 3.8° d'angle visuel en largeur et 4° en hauteur (comme dans l'Expérience 1a). Pour ce qui est du niveau local, le dessin fait 0.35° en largeur et 0.4° en hauteur. Les dessins sont inscrits en noir sur fond blanc avec une distance de 2° d'angle visuel entre le centre de l'écran et le bord du dessin le plus proche de ce centre d'écran. Le point de fixation est le même que dans l'expérience 1a. Le dessin au niveau global ou local peut être une lune, une étoile, un champignon, une croix ou un cœur. Dans cette expérience, la cible est la lune ou l'étoile et peut se situer au niveau global ou au niveau local (voir Figure 4).

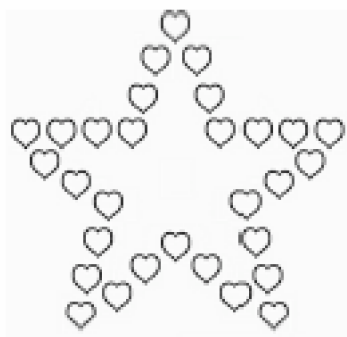


Figure 4. Exemple d'un dessin hiérarchisé (étoile au niveau global et cœur au niveau local) dans l'Expérience 1b.

Comme dans l'expérience avec les lettres, l'ensemble de la liste comporte 168 stimuli (48 items expérimentaux et 120 distracteurs). Ils sont répartis en 2 blocs (A et B), de sorte que tout stimulus qui apparaît en CVD dans l'une des listes apparaisse en CVG dans l'autre liste, et vice-versa, une série de stimuli du même côté ne dépassant tout de même pas 3 répétitions. La moitié des sujets réalise l'épreuve sur le bloc A, puis le bloc B ; les autres la réalisent dans l'autre sens. Les mêmes règles que dans l'Expérience 1a sont respectées pour la proportion de cibles à chaque niveau et de chaque côté, pour l'ensemble de la liste, comme pour les 48 stimuli expérimentaux. De même, la différence entre un stimulus expérimental et le stimulus précédent consiste toujours en un

changement de niveau et de réponse mais pas de champ visuel. Enfin, 50% des stimuli expérimentaux sont précédés de 2 stimuli pour lesquels le traitement est à un niveau différent (condition 2 répétitions), et 50% précédés de 4 stimuli pour lesquels le traitement est à un niveau différent (condition 4 répétitions). Chacune des 8 conditions expérimentales (définies par le croisement des facteurs champ visuel, niveau et répétition) est représentée par 6 items. Les mêmes règles que dans l'Expérience 1a permettent d'équilibrer dans chaque condition la proportion d'items contenant l'une ou l'autre cible, de même que la proportion d'items correspondant à une compatibilité côté de la réponse - côté d'apparition du stimulus.

1.3. Procédure et matériel (Expérience 1b)

Le matériel informatique et les conditions de passation sont les mêmes que dans l'Expérience 1a. La procédure est identique, seuls les stimuli sont différents puisqu'il s'agit cette fois de dessins hiérarchisés. La cible située soit au niveau local, soit au niveau global, est une lune ou une étoile. La tâche consiste à décider laquelle des deux est présente dans le stimulus.

2. Résultats Expériences 1a et 1b

Nous avons réalisé tout d'abord une analyse globale des données des Expériences 1a et 1b, sur les latences pour les réponses exactes (TR), d'une part, et sur les pourcentages d'erreurs, d'autre part. Nous avons pratiqué une analyse de variance à mesures répétées, avec le facteur inter-individuel catégorie (lettre, dessin d'objet) et trois facteurs intra-individuels : Champ (Champ Visuel Gauche - Hémisphère Droit, CVG-HD ; Champ Visuel Droit - Hémisphère Gauche, CVD-HG), Niveau (global, local), Nombre de Répétitions avant un changement de niveau (2 répétitions, 4 répétitions). Étant donnée la différence globale de performances entre ces deux expériences et surtout l'existence d'une interaction impliquant le facteur catégorie, nous avons complété l'analyse globale par des analyses séparées sur chaque expérience. Nous avons éliminé les temps supérieurs ou inférieurs à la moyenne de la condition et du sujet considérés, plus ou moins 2 écart-types.

L'analyse globale sur les TR montre tout d'abord un effet de la catégorie, avec des réponses plus rapides pour les lettres (773 ms) que pour les dessins (904 ms), $F(1, 62) = 6.27$, $p = .015$, comme le montre la Figure 5.

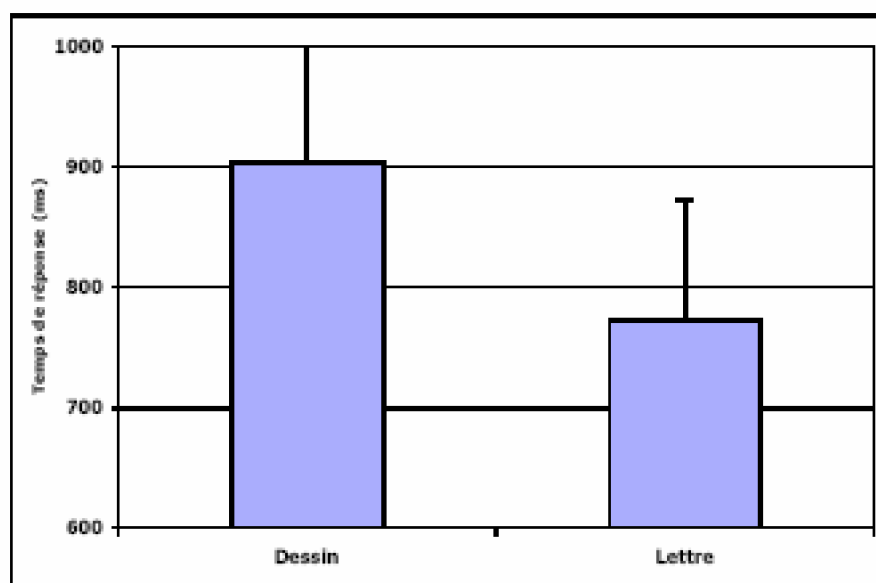


Figure 5. Effet de la catégorie du stimulus sur les temps de réponses pour les Expériences 1a et 1b ; les barres d'erreurs représentent les erreurs standard.

De même, le facteur répétition affecte les temps de réponses avec des latences plus importantes lors d'un changement de niveau après 4 répétitions (862 ms), plutôt qu'après 2 répétitions (816 ms), $F(1, 62) = 24.477$, $p = .0001$. Nous n'observons pas d'effet principal des facteurs niveau et champ. En revanche, l'interaction Champ X Niveau X Catégorie est significative, $F(1, 62) = 6.836$, $p = .011$. L'observation de la Figure 6 suggère qu'elle reflète deux phénomènes : au niveau local, l'avantage classique pour le CVD-HG est modulé selon la catégorie et au niveau global l'avantage classique cette fois pour le CVG-HD est lui aussi modulé par la catégorie. Toutefois, des analyses partielles portant l'une sur les TR au niveau local et l'autre sur les TR au niveau global, révèlent que l'interaction Champ X Catégorie est significative pour les données au niveau local, $F(1, 62) = 5.84$, $p = .02$, mais pas pour celles concernant le niveau global, $F(1, 62) = 2.58$, $p = .113$. Aussi le phénomène, qui concerne le niveau local, semble-t-il prépondérant. Ainsi, l'avantage classique au niveau local, pour le CVD-HG (759 ms) par rapport au CVG-HD (789 ms) est-il relevé pour les lettres, $t(1, 31) = 2.943$, $p = .003$, alors que pour les petits dessins l'inverse se dessine (900 ms en CVD-HG et 881 ms en CVG-HD), $t(1, 31) = 0.54$, $p = .29$. Par contre, pour ce qui est du niveau global, les réponses sont certes plus rapides en CVG-HD (756 ms) qu'en CVD-HG (789 ms) pour les grandes lettres, mais il ne s'agit que d'une tendance, $t(1, 31) = 1.58$, $p = .06$, qui s'oppose à une absence d'asymétrie pour les grands dessins (921 ms en CVG-HD et 913 ms en CVD-HG, $t(1, 31) = 1.10$, $p = .14$).

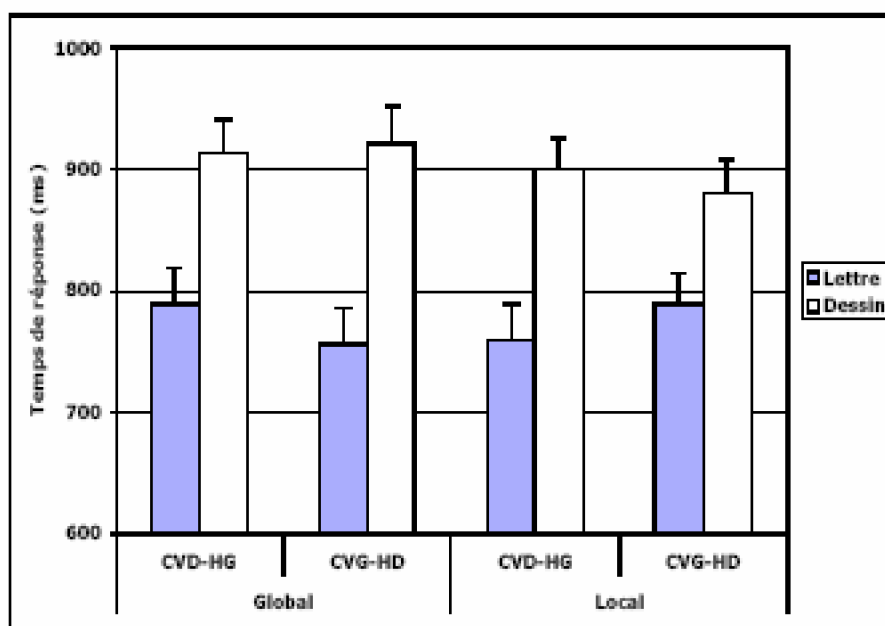


Figure 6. Temps de réponses et erreurs standard pour les Expériences 1a et 1b, selon la catégorie, le niveau et le champ visuel de présentation.

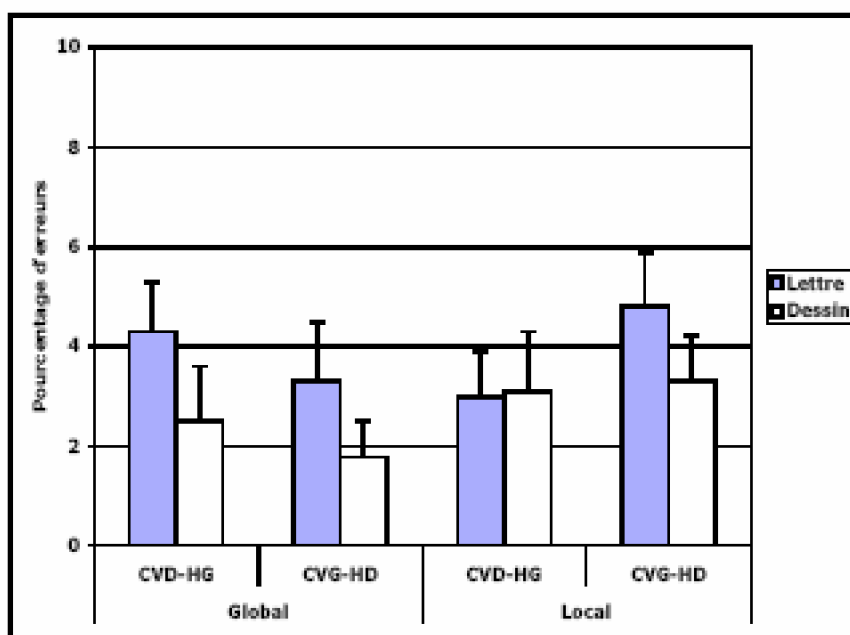


Figure 7. Pourcentages d'erreurs moyens et erreurs standard pour les Expériences 1a et 1b, selon la catégorie, le niveau et le champ visuel de présentation.

L'analyse globale des pourcentages d'erreurs ne fait ressortir aucun effet principal des facteurs champ, niveau, catégorie et répétition. Contrairement aux TR, nous n'observons pas d'interaction Champ X Niveau X Catégorie ($F < 1$), mais la Figure 7 montre que le seul phénomène distinguant ici lettres et dessins est l'avantage en CVD – HG (3% d'erreurs) par rapport au CVG – HD (4.8% d'erreurs) pour les cibles locales,

proche de la significativité lorsqu'il s'agit de lettres $t(1, 31) = 1,57, p = .06$, mais pour les dessins ; ce phénomène est cohérent avec les données sur les TR. Par ailleurs, nous observons une interaction Répétitions X Champ, $F(1, 62) = 5.973, p = .017$. Comme le montre la Figure 8, l'exactitude des réponses est amoindrie par l'augmentation du nombre de répétitions avant le changement de niveau seulement en CVD-HG, $F(1, 62) = 6.884, p = .011$ et pas en CVG-HG, $F < 1$. Par ailleurs, dans la condition la plus difficile (4 répétitions avant le changement de niveau), les réponses tendent à être plus exactes en CVG-HD qu'en CVD-HG, $F(1, 62) = 2.801, p = .09$, tendance inverse à celle observée pour la condition 2 répétitions, $F(1, 62) = 3.178, p = .0795$.

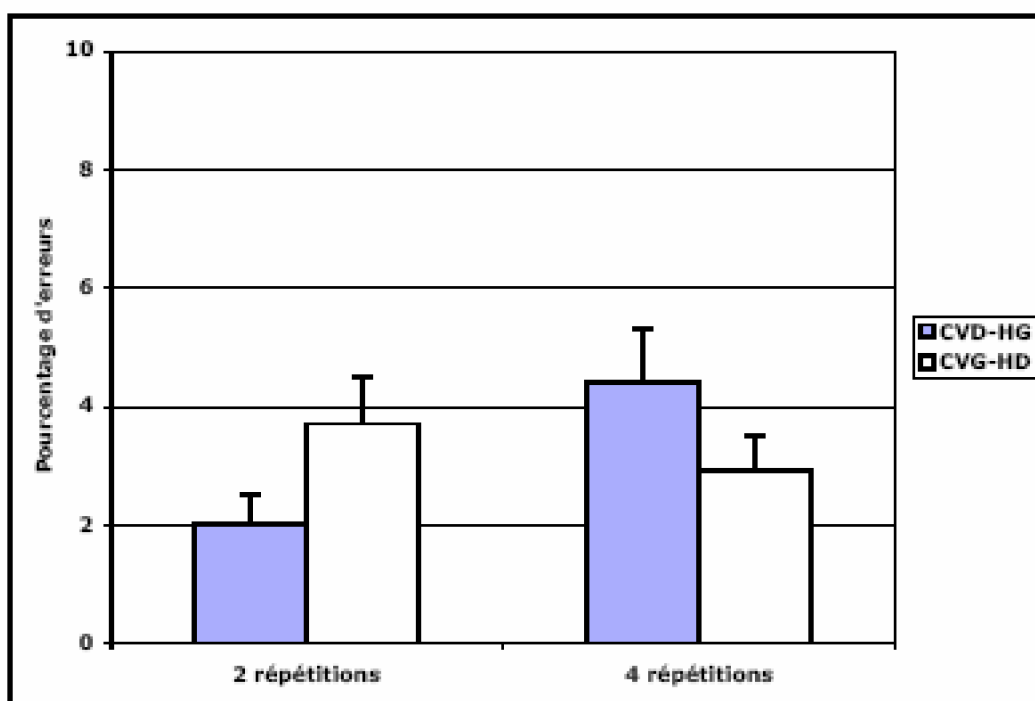


Figure 8. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard dans les Expériences 1a et 1b selon le champ visuel de présentation et le nombre de répétitions.

Enfin, nous observons une interaction Répétition X Niveau, $F(1, 62) = 5.332, p = .02$, qui s'explique par une détérioration des performances avec l'augmentation du nombre de répétitions avant l'alternance, seulement pour le passage du niveau local au niveau global (1.9% d'erreurs après 2 répétitions et 4% d'erreurs après 4 répétitions, $F(1, 62) = 7.10, p = .01$), et pas pour le passage du niveau global au niveau local, $F(1, 62) < 1$ (Voir Figure 9).

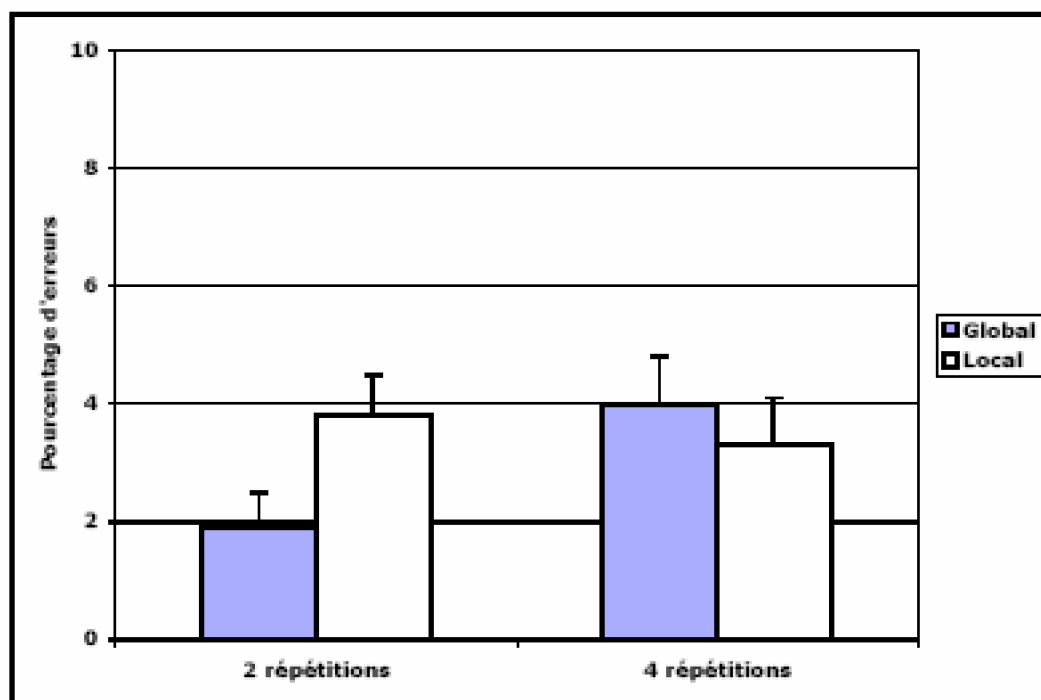


Figure 9. Pourcentages d'erreurs et erreur standard pour les Expériences 1a et 1b selon le niveau de la cible et le nombre de répétitions.

En complément, les TR et les pourcentages d'erreurs de l'Expérience 1a (lettres hiérarchisées) ont fait l'objet d'analyses de variance à mesures répétées, avec 3 facteurs intra-individuels : Champ (CVG-HD, CVD-HG), Niveau (global, local), Répétition (2, 4).

Pour les TR, cette analyse ne révèle toujours pas d'effet du niveau, ni du champ, mais une interaction entre ces deux facteurs, $F(1, 31) = 7.85, p = .01$. L'étude des contrastes confirme au niveau global l'avantage du CVG-HD (756 ms) sur le CVD-HG (789 ms), $F(1, 31) = 4.31, p = .05$, et au niveau local, l'avantage en CVD-HG (759 ms) par rapport au CVG-HD (789 ms) se traduit dans cette analyse par une forte tendance, $F(1, 31) = 3.55, p = .069$ (voir Figure 6).

Par ailleurs, l'effet du facteur répétition présent sur l'analyse globale des Expériences 1a et 1b se confirme sur les données correspondant aux lettres, un stimulus impliquant un changement de niveau étant traité plus lentement après une série de 4 items à un autre niveau (794 ms), plutôt qu'après une série de 2 répétitions avant ce changement (753 ms), $F(1, 31) = 12.20, p = .002$. Pour les TR, l'interaction Répétition X Champ n'est pas plus significative que dans l'analyse de l'Expérience 1a, $F(1, 31) = 2.426, p = .129$, mais nous l'examinons tout de même de plus près pour repérer une éventuelle cohérence avec la configuration des effets relevés dans l'analyse générale sur les erreurs. La Figure 10 suggère cette cohérence. L'étude des contrastes montre que, l'influence délétère de l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau est significative seulement en CVD-HG (différence = 57 ms), $F(1, 31) = 7.74, p = .009$ et pas en CVG-HD (différence = 25 ms), $F(1, 31) = 1.53, p = .2260$, comme c'est le cas sur les pourcentages d'erreurs sur l'ensemble des Expériences 1a et 1b. Toutefois, la comparaison de ces deux

différences n'atteint pas le seuil de significativité, $t(1, 31) = 1.09$, $p = .14$.

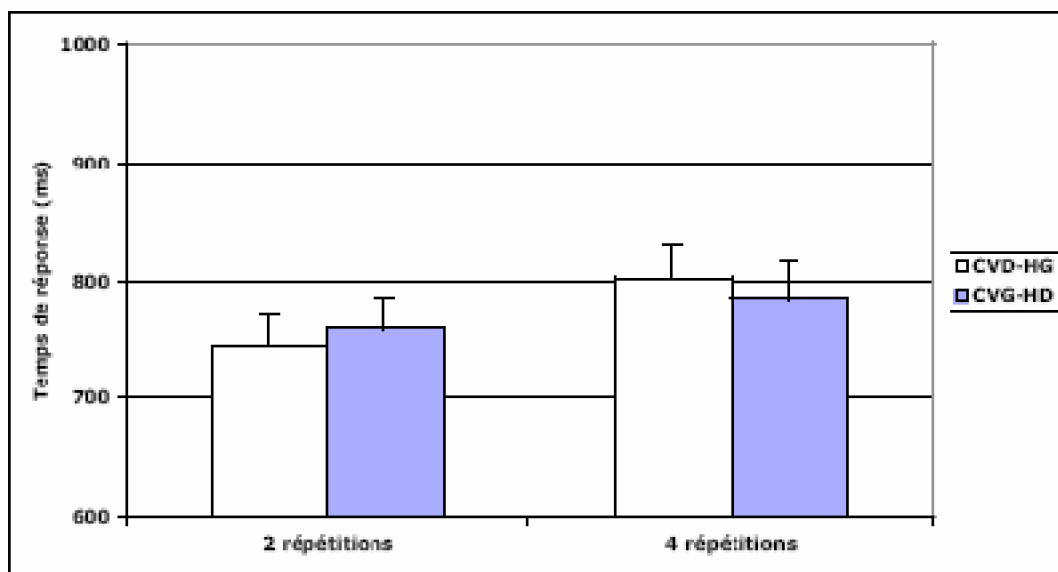


Figure 10. Temps de réponses et erreurs standard dans l'Expérience 1a selon le nombre de répétitions avant un changement de niveau et le champ visuel de présentation.

L'analyse des pourcentages d'erreurs de l'Expérience 1a ne montre aucun effet principal ni aucune interaction significative. Seule la configuration des résultats pour l'interaction Niveau X Champ paraît intéressante $F(1, 31) = 3.223$, $p = .082$. Comme le montre la Figure 7 pour les lettres, le niveau local tend à être mieux traité dans le CVD-HG (4.3%) que dans le CVG-HD (6.6%) $F(1, 31) = 2.66$, $p = .113$, en conformité avec les résultats sur les latences, alors qu'aucun avantage hémisphérique n'apparaît pour les lettres au niveau global. Bien que ces comparaisons de moyennes n'atteignent pas le seuil de significativité pour les taux d'erreurs, elles permettent d'écarter l'hypothèse d'un phénomène d'échange rapidité-exactitude pour le point considéré.

Les TR et les pourcentages d'erreurs de l'Expérience 1b proposant des dessins ont fait l'objet des mêmes analyses de variance que l'Expérience 1a sur les lettres hiérarchisées, avec les trois facteurs intra-individuels niveau, champ et répétitions.

Sur les TR, le niveau et le champ n'exercent pas d'effet, comme dans l'épreuve sur les lettres et l'interaction Champ X Niveau, relevée sur les lettres, n'est pas présente sur les dessins d'objets, $F(1, 31) = 1.09$, $p = .19$. Étant données nos hypothèses, nous avons tout de même comparé les moyennes des conditions à l'issue de cette interaction et le seul contraste significatif reflète la plus grande rapidité pour le traitement local (881 ms) plutôt que global (921 ms) lorsque les dessins d'objets sont présentés en CVG-HD, $F(1, 31) = 4.74$, $p = .0371$, comme illustré en Figure 6.

Par ailleurs, l'effet de répétition est significatif, $F(1, 31) = 12.53$, $p = .001$, avec des réponses plus lentes lorsque le changement de niveau survient après 4 répétitions (929 ms) plutôt que 2 répétitions (878 ms). L'interaction Répétition X Champ n'est pas significative sur les TR, mais la configuration des résultats est conforme à celle observée dans l'analyse générale sur les pourcentages d'erreurs : l'augmentation du nombre de

répétitions a un effet apparemment plus négatif en CVD-HG qu'en CVG-HD, mais l'effet est significatif dans les deux cas (respectivement, $F(1, 31) = 10.31, p = .003$ et $F(1, 31) = 4.63, p = .04$) comme le montre la Figure 11.

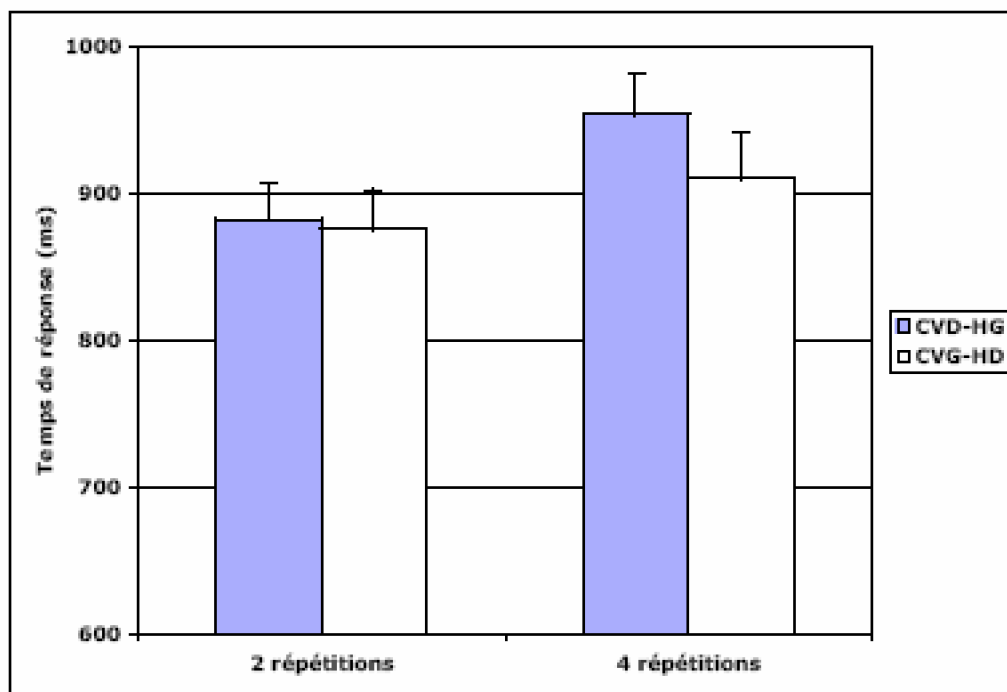


Figure 11. Temps de réponses et erreur standard dans l'Expérience 1b selon le champ de présentation et le nombre de répétitions.

L'analyse des pourcentages d'erreurs dans l'Expérience 1b ne fait ressortir aucun effet des facteurs principaux. Cependant, l'interaction Répétition X Niveau, significative dans l'analyse rassemblant lettres et dessins, mais absente dans l'analyse des lettres seules, semble reposer essentiellement sur les dessins car elle est significative dans l'analyse des erreurs de l'Expérience 1b, $F(1, 31) = 5.27, p = .029$. Le pourcentage d'erreurs s'accroît nettement avec l'augmentation du nombre de répétitions (4 répétitions vs 2 répétitions) lors d'un passage du niveau local au niveau global (différence = 3.3%), $F(1, 31) = 12.73, p = .001$, mais pas lors d'un passage inverse (différence = 0.3%), $F(1, 31) < 1$ (Figure 12). Par ailleurs, le facteur répétition interagit aussi avec le Champ, $F(1, 31) = 5.91, p = .02$, ce qui semble aussi expliquer l'interaction Répétition X Champ obtenue dans l'analyse rassemblant lettres et dessins : il y a plus d'erreurs en condition 4 répétitions (4.9%) qu'en condition 2 répétitions (0.7%) seulement dans le CVD-HG, $F(1, 31) = 9.39, p = .005$. De plus, dans la condition la plus difficile pour le changement de niveau (4 répétitions), nous observons des réponses plus exactes en CVG-HD (2.3% d'erreurs) qu'en CVD-HG (4.9% d'erreurs), $F(1, 31) = 3.74, p = .062$ (Voir Figure 13).

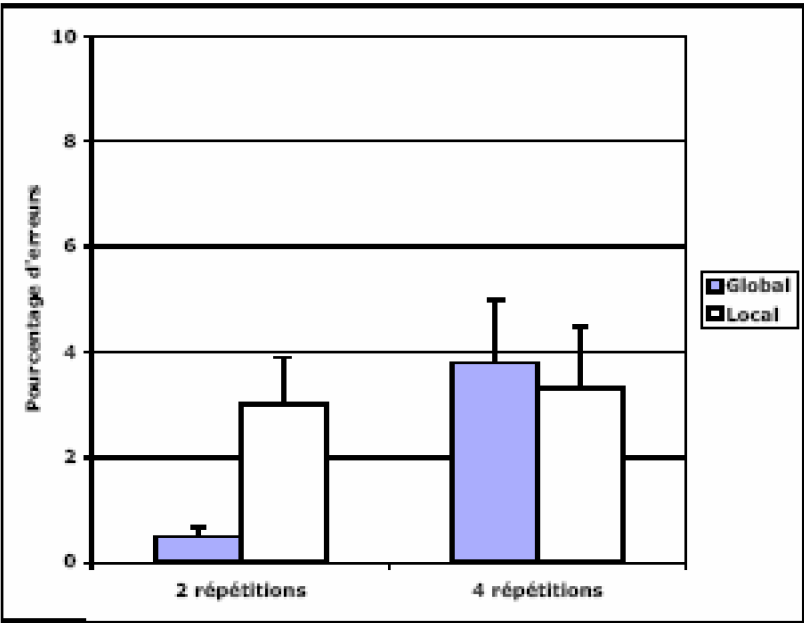


Figure 12. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard dans l'Expérience 1b selon le niveau et le nombre de répétitions.

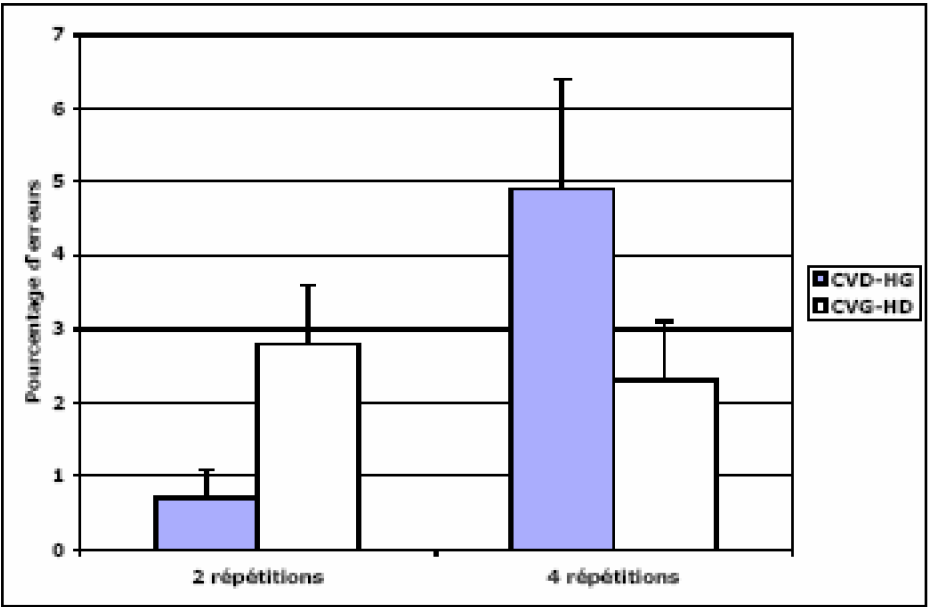


Figure 13. Pourcentages d'erreurs moyens et erreurs standard dans l'Expérience 1b selon le champ de présentation et le nombre de répétitions.

3. Discussion

Equilibre de la saillance de l'information visuelle entre les niveaux global et

local

L'élaboration de notre matériel était guidée par le souhait de construire des stimuli hiérarchisés pour lesquels l'identification des cibles ne demande pas plus de temps pour l'information visuelle située au niveau local qu'au niveau global, ce qui est considéré comme un critère d'équilibre de la difficulté de traitement entre les deux niveaux par Lamb et Robertson (1989) ou encore Yovel, Yovel et Levy (2001). Nous pensions que cet équilibre de la saillance de l'information entre les niveaux était souhaitable pour permettre ensuite d'interpréter plus directement d'éventuels effets de dominance hémisphérique en lien avec les traitements global et local. La plus grande facilité de discrimination des cibles au niveau global, observée dans la plupart des expériences relatées dans la littérature sur le sujet, pourrait en effet produire un 'effet plancher' rendant la tâche aussi facile pour chaque hémisphère lorsque la cible est au niveau global, et un 'effet plafond' la rendant aussi ardue pour les deux hémisphères au niveau local, ce qui réduirait les chances de recueillir des indices de dominance hémisphérique pour le traitement de chaque niveau (Yovel, & al., 2001). Equilibrer cette difficulté nous paraissait également une précaution importante, compte tenu des travaux de Mevorach et ses collègues (2006). Nous avons vu qu'ils montrent que des structures du lobe pariétal gauche peuvent être particulièrement recrutées pour contrer le biais poussant à sélectionner l'information située au niveau le plus saillant, même si la cible ne se trouve pas à ce niveau. Cette implication de l'HG sous-tendrait un processus de contrôle attentionnel descendant et pourrait masquer les effets d'asymétrie hémisphérique liés à la prise en charge différenciée des niveaux. Il semble donc pertinent de tenter d'éviter un tel biais en construisant des stimuli aussi équilibrés que possible.

Pour cela, nous avons modifié les rapports de taille entre les informations aux niveaux global et local de stimuli précédemment utilisés dans l'équipe pour une autre expérience (Bedoin, & al., 2006 ; Lamoury, 2002). Comme dans les Expériences 1a et 1b, il s'agissait d'une épreuve réalisée avec le paradigme d'attention divisée entre les niveaux, avec une présentation en champ visuel divisé, et les objets dessinés aux niveaux global et local étaient les mêmes que ceux de l'Expérience 1b. Cette expérience avait permis d'obtenir, auprès d'un groupe de 24 jeunes adultes, des temps de discrimination de cibles significativement plus courts au niveau global qu'au niveau local, $F(1, 23) = 17.18$, $p = .0004$, comme il est assez classique de l'observer (Navon, 1977). Dans les Expériences 1a et 1b de notre thèse, nous avons réduit la taille du stimulus global ($4^\circ \times 3.8^\circ$ ici, au lieu de $5.5^\circ \times 5.5^\circ$ dans l'expérience précédente), mais cette taille d'ensemble reste, dans les deux cas, dans un ordre de grandeur pour lequel un avantage du niveau global apparaît généralement ($< 7^\circ$, Kinchla & Wolf, 1979 ; Lamb & Robertson, 1989). Nous avons surtout réduit la densité des éléments au niveau local, en augmentant leur taille ($0.4^\circ \times 0.35^\circ$ ici, au lieu de $0.35^\circ \times 0.35^\circ$ dans l'expérience précédente) et en augmentant aussi de 2/3 l'espace qui les sépare. Nous avons vu que la diminution de la densité (Enns & Kingstone, 1995 ; Han & Humphreys, 1999 ; Huberle & Karnath, 2006 ; LaGasse, 1993 ; Martin, 1979) est un moyen efficace pour augmenter la saillance des informations au niveau local, sans doute aussi parce que l'opération de groupement devient alors difficile pour dégager la configuration de niveau global. Nous avons vu, dans la partie 1.2. du Chapitre 1, que l'attention pouvait être attirée par des configurations

issues de groupements réalisés spontanément à partir de propriété relationnelles présentes entre les éléments : un tel groupement est ici possible sur la base de la similarité des formes (critère qui n'est d'ailleurs pas le plus précocement pris en compte, Han, Humphreys, & Chen, 1999b) et l'absence de connectivité n'est pas un obstacle infranchissable, à condition que la distance entre les éléments ne soit pas trop grande. La diminution de la densité dans nos Expériences 1a et 1b rend ces groupements moins faciles, ce qui compenserait l'avantage que la grande forme tire normalement du seul niveau de la hiérarchie qu'elle représente.

Dans les Expériences 1a et 1b, cette précaution semble avoir suffi pour équilibrer la difficulté de discrimination de cibles entre les niveaux, puisque les temps de réponse et les taux d'erreurs ne diffèrent pas entre les niveaux global et local, que ce soit dans l'analyse générale ou dans les analyses conduites séparément sur chaque expérience.

Influence de la familiarité du matériel

Tout juste significatif dans l'analyse des temps de réponse de nos Expériences 1a et 1b, un avantage des lettres par rapport aux dessins d'objets se manifeste. Les jeunes adultes (étudiants) testés dans cette expérience ont sans doute été influencés par la familiarité du matériel alphabétique. Cela nous apprend que la discrimination de cibles dans des stimuli hiérarchisés ne dépend pas uniquement des caractéristiques physiques des éléments visuels, leur contenu sur le plan sémantique tient aussi une place dans ce traitement. De telles influences basées sur l'appartenance de l'information à une certaine catégorie ont déjà été relevées dans des tâches qui pourraient pourtant être réalisées uniquement à partir de critères physiques (Boucart & Humphreys, 1992, 1994, 1997 ; Murray & Jones, 2002). Par ailleurs, nous avons aussi relaté des travaux montrant que l'implication de régions cérébrales sous-tendant des mécanismes visuels précoces peut être modulée, notamment pour la latéralisation des activations, par des facteurs de haut niveau relatifs, par exemple, aux demandes de la tâche (Evans, Shedden, Hevenor, & Hahn, 2000 ; Fink, Halligan, Marshall, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1996, Fink, & al., 1997a ; Jiang & Han, 2005) ; l'avantage du niveau global lui-même peut être modifié par la familiarité des connaissances évoquées par des dessins d'objets proposés au niveau local (Poirel & Mellet, 2006 ; Shull, Hupp, & Haaf, 2003). Dans nos expériences, le fait que le contenu de l'information renvoie à des connaissances plus familières dans le cas des lettres accélère de manière générale les performances en discrimination ; l'étude de cet effet chez des enfants, pour qui les lettres constituent une catégorie moins familières, permettra de tester s'il s'agit bien d'un effet de familiarité lié à l'apprentissage de la lecture (Chapitre 2). Chez les adultes, l'avantage observé pour les lettres semble pour l'instant témoigner de l'influence d'une caractéristique de haut niveau, la familiarité (c'est-à-dire une caractéristique de l'organisation mnésique des connaissances), sur les performances dans cette tâche de discrimination.

Influence des catégories sur la dominance hémisphérique pour les traitements global/local

Les résultats des Expériences 1a et 1b confortent partiellement notre **Hypothèse théorique 1**, sur la modulation exercée par les catégories sur la dominance

hémisphérique pour les niveaux global et local. Certains aspects des données apportent toutefois des éléments encourageants à ce propos. Sur les temps de réponse, l'interaction significative Champ X Niveau X Catégorie est ainsi tout à fait conforme à l'hypothèse.

L'examen attentif de ce qui se produit pour l'un et l'autre niveaux nous apprend en particulier que la dominance hémisphérique pour la discrimination de cibles locales n'est pas exclusivement déterminée par la spécialisation de mécanismes latéralisés en fonction de leur compétence pour le traitement d'un certain niveau d'analyse.

Au niveau local, l'interaction significative Champ X Catégorie nous apprend en particulier qu'il n'y a pas de dominance systématique de l'HG pour le traitement de ce niveau, mais que la dominance hémisphérique observée dépend aussi de la catégorie des stimuli. Plus précisément, nous observons un avantage significatif de l'HG pour le traitement local des lettres hiérarchisées, ce qui est classique, mais cet avantage disparaît et laisse place à une tendance inverse pour le traitement local des dessins hiérarchisés. Ces données confortent donc seulement partiellement notre **Hypothèse 1a**, puisque l'avantage de l'HD observé pour le traitement local des objets hiérarchisés n'atteint pas lui-même le seuil de significativité. Notons tout de même que le seul effet significatif issu de l'analyse des temps de réponse pour l'Expérience 1b (dessins d'objets), effectuée séparément, montre qu'en CVG-HD les latences sont plus courtes pour le niveau local que pour le niveau global : il semble donc que des structures de l'HD traitent particulièrement bien les objets au niveau local, ce qui n'est pas le cas pour les lettres (Expérience 1a). Les pourcentages d'erreurs, faibles, n'ont pas fait ressortir d'effet très net, mais le seul à atteindre le seuil de significativité est tout de même l'avantage de l'HG sur l'HD pour le traitement local dans le seul cas des lettres hiérarchisées, ce qui va dans le même sens que les effets obtenus sur les latences. Il apparaît donc, globalement, que la spécialisation hémisphérique associée aux modes de traitement global et local n'est pas le déterminant exclusif de l'implication respective de chaque hémisphère pour la discrimination de cibles situées au niveau local. La configuration des résultats obtenus pour ce niveau d'analyse est en cela compatible avec l'hypothèse inspirée de Fink et ses collègues (1997b). En bref, dans les Expériences 1a-1b, et conformément à l'**Hypothèse 1a**, la catégorie du contenu du stimulus est un critère déterminant pour l'engagement de mécanismes latéralisés lorsqu'il s'agit de discriminer un élément au niveau local.

Pour ce qui est de la discrimination de stimuli au niveau global, les résultats sont moins nets qu'au niveau local, car l'interaction Champ X Catégorie n'atteint pas le seuil de significativité. Aussi, la modulation de l'asymétrie hémisphérique associée au traitement global par la catégorie des stimuli doit-elle être discutée avec prudence. Il n'en demeure pas moins que, dans les analyses conduites séparément sur les temps de réponse de l'une et l'autre expériences, l'avantage classique de l'HD est significatif pour les lettres globales, alors qu'aucune différence n'apparaît selon le champ visuel de présentation pour les dessins d'objet traités au niveau global. Cette configuration de résultats ne reproduit pas exactement le renversement de l'asymétrie hémisphérique observé pour les activations cérébrales par Fink et ses collègues (1996, 1997b) pour le niveau global, mais elle manifeste tout de même une atténuation de l'avantage de l'HD pour le traitement de ce niveau lorsque le stimulus est un dessin d'objet hiérarchisé plutôt qu'une lettre

hiérarchisée, ce qui va dans le sens de notre **Hypothèse 1e**. Cette disparition de la dominance de l'HD pour le traitement global des dessins d'objets hiérarchisés, associée à la tendance vers un avantage de l'HD pour le traitement local de ces mêmes dessins d'objets, constituent une configuration compatible avec notre attente.

Les quelques indices observés et qui peuvent être interprétés comme des signes d'une modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour les traitements global et local sont aussi autant d'éléments en faveur des **Hypothèses 1c et 1d**. Ces dernières proposent en effet que des signes d'une telle modulation peuvent apparaître à travers la simple observation de données comportementales, et ceci dans une épreuve mobilisant pourtant l'attention de manière différente de celle employée par Fink et ses collègues (1996, 1997b), et avec des stimuli dont la difficulté *réelle* de traitement au niveau local ne peut être évoquée pour justifier la mise en œuvre d'un processus de haut niveau destiné à optimiser l'identification de l'information à ce niveau. Aussi, l'intérêt de ces quelques données est d'avoir répliqué, en partie, les effets présentés par Fink et ses collègues dans des conditions si différentes qu'elle peuvent accroître leur portée. Comme eux, nous sommes tenté de dire que de telles données suggèrent pour le moins que les fréquences spatiales ne sont pas le seul déterminant pour le traitement des niveaux d'analyse, sensible aussi à des influences de plus haut niveau cognitif.

Effets de répétition de niveau d'un mode d'analyse avant un changement de niveau

Dans les Expériences 1a et 1b, nous avons fait varier le nombre de répétitions avant un changement de niveau (*switch*) afin de vérifier tout d'abord s'il s'agit d'un moyen efficace pour rendre le *switch* plus difficile. Sur ce point, nous pouvons dire que c'est effectivement le cas, puisque l'analyse des données montre que la différence entre 2 et 4 répétitions de traitement à un même niveau avant un *switch* suffit à ralentir significativement le traitement du stimulus pour lequel ce changement de niveau est nécessaire. Cela confirme l'effet obtenu par Wilkinson et ses collègues (2001), qui montrent eux aussi que la comparaison de l'influence de 2 et celle de 4 répétitions suffit à donner lieu à un tel effet de contexte. Dans nos données, cet effet est assez général et s'exprime aussi bien dans l'analyse globale des données des deux expériences que sur chacune des expériences traitée séparément, ce qui va vraiment dans le sens de l'**Hypothèse 2a**.

Par ailleurs, dans la partie théorique, nous avons développé l'idée selon laquelle le processus de changement est vraisemblablement complexe et peut être décrit comme articulant plusieurs opérations. Nous supposons que le facteur que nous manipulons ici est susceptible d'affecter plus particulièrement la réalisation de l'une d'elles, celle qui permet de *désélectionner* le mode de traitement préalable, un peu comme l'attention se désengage d'un endroit de l'espace sur lequel elle a été orientée mais qui est devenu non pertinent. Dans le cas du changement de niveau, l'opération dont nous parlons est sans doute de nature différente et nous n'évoquons qu'une analogie avec les phénomènes de ré-orientation de l'attention visuo-spatiale. Il est probable qu'un mécanisme d'inhibition permette cette désélection du mode d'analyse devenu inapproprié, et nous avons supposé que l'augmentation des répétitions préalables est susceptible de rendre le

fonctionnement de ce mécanisme particulièrement difficile. Dans cette perspective, l'effet négatif des nombreuses répétitions avant un changement de niveau, observé dans les Expériences 1a et 1b, témoignerait d'un accroissement des demandes adressées au mécanisme de désélection, mettant ce dernier en difficulté, mais permettant aussi de l'étudier de manière isolée.

Sur ce point, notre Hypothèse 2b proposait que cette opération de désélection implique des structures de l'HD, ce qui devait se manifester par un amoindrissement de la perturbation induite par l'augmentation du nombre de répétitions avant le changement de niveau lorsque celui-ci concerne des stimuli présentés en CVG-HD, par comparaison avec l'effet observé pour des stimuli présentés en CVD-HG.

Effet de répétition de niveau et dominance hémisphérique

Dans les Expériences 1a et 1b, nous avons pris soin d'éviter la confusion entre changement de niveau d'analyse et changement de champ visuel d'un item à l'autre, en faisant en sorte que l'item $n - 1$ précédant un *switch* soit toujours présenté du même côté que l'item n . Cette précaution était également importante pour permettre d'étudier une éventuelle dominance hémisphérique pour l'opération de désélection du mode de traitement préalable avant un changement de niveau. Plusieurs indices dans l'analyse des données suggèrent que l'HD est particulièrement performant pour gérer la difficulté engendrée par l'augmentation du nombre de répétitions de niveaux avant un *switch*.

Tout d'abord, dans l'analyse générale sur les pourcentages d'erreurs, l'interaction entre les facteurs répétitions et champ met sur la piste d'une asymétrie hémisphérique pour la gestion de cette difficulté. Cette interaction s'explique par un ralentissement significatif des réponses, lié à l'augmentation des répétitions seulement dans le cas où les items $n - 1$ et n sont présentés en CVD-HG. La difficulté induite par le contexte des nombreuses répétitions semble donc surtout poser un problème lorsque l'information est plus directement adressée à l'HG que lorsqu'elle est adressée à l'HD, ce qui pourrait traduire une meilleure efficacité de certaines structures de l'HD pour réaliser l'opération de désélection, conformément à notre **Hypothèse 2b**.

Cet effet est suffisamment fort pour atteindre le seuil de significativité dans l'analyse globale portant sur les deux expériences, mais il s'avère qu'il est essentiellement dû à l'interaction Répétition X Champ significative dans l'expérience sur les dessins d'objets (Expérience 1b), avec, là encore, un effet négatif significatif de l'augmentation des répétitions dans le seul cas des stimuli présentés en CVD-HG. Dans cette expérience sur les dessins d'objets, la configuration des résultats sur les temps de réponse est similaire à celle des résultats sur les erreurs : bien que les réponses soient plus lentes si le *switch* suit 4 plutôt que 2 répétitions quel que soit l'hémichamp de présentation, l'effet est très significatif en CVD-HG, mais atteint tout juste le seuil de significativité de .05 en CVG-HD. C'est aussi surtout dans cette expérience que la condition la plus difficile (i.e., 4 répétitions avant le changement de niveau) tend fortement à être traitée de manière plus exacte si les stimuli sont présentés en CVG-HD plutôt qu'en CVD-HG. Malheureusement, cet effet n'atteint pas tout à fait le seuil de significativité dans cette expérience.

Il est surprenant que l'effet de répétition diffère selon le champ visuel seulement dans

l'épreuve sur les dessins d'objets. Nous pouvons voir dans cette différence un autre type d'influence que peut exercer la catégorie du matériel sur les effets d'asymétrie hémisphérique. Remarquons tout de même que, même si l'interaction Répétition X Champ n'est pas significative dans l'épreuve sur les lettres, la configuration des résultats sur les latences rappelle l'effet observé dans l'expérience sur les dessins d'objets : l'augmentation du nombre de répétitions ne ralentit significativement le traitement que dans le CVD-HG et pas dans le CVG-HD. Sur ce point, les données ne sont donc pas contradictoires entre les Expériences 1a et 1b. Il reste que la catégorie du matériel semble instaurer, ici aussi, une certaine modulation sur les asymétries hémisphériques observées, mais si celle-ci doit se confirmer dans les expériences ultérieures, nous n'avons pas pour l'instant d'interprétation à proposer.

Enfin, un résultat surprenant est aussi apparu à propos des effets de répétition, avec l'interaction Répétition X Niveau : l'augmentation des répétitions avant un changement produit une augmentation des erreurs seulement s'il s'agit de désélectionner le niveau local pour passer au niveau global. Si le mécanisme de désélection consiste à inhiber un mode de traitement devenu inapproprié, ce résultat pourrait traduire le fait que l'inhibition du mode de traitement local est plus difficile, ou demande plus de ressources, que l'inhibition du mode de traitement global. Etant donné que la difficulté de traitement de l'information a été équilibrée entre les niveaux, cela n'est vraisemblablement pas lié à une difficulté plus grande pour inhiber l'analyse de détails qui seraient perceptivement plus saillants. Si ce phénomène n'est pas un simple artéfact des expériences, il suggère une interprétation en termes attentionnels et nous vérifierons dans les expériences suivantes si les mécanismes attentionnels consistant à inhiber un mode d'analyse plutôt qu'un autre présentent des degrés de difficultés différents. Cela suggérerait alors que des mécanismes d'inhibition distincts pourraient être mobilisés selon le niveau à inhiber.

En résumé, dans leur ensemble, les Expériences 1a et 1b apportent quelques arguments en faveur d'une asymétrie hémisphérique pour la prise en charge d'une difficulté liée à la nécessité de changer de mode d'analyse d'un objet hiérarchisé dans un contexte ayant préalablement encouragé le maintien de l'attention sur un autre niveau d'analyse. L'HD semble à la fois moins perturbé par le renforcement de la difficulté engendrée par un tel contexte, et tend à être plus habile à gérer ce type de difficulté lorsqu'elle est élevée. Dans les travaux étudiant plutôt le passage lui-même d'un niveau à l'autre, ou le maintien de l'engagement à un certain niveau, les structures cérébrales évoquées comme support sont généralement situées dans le lobe pariétal gauche. Les quelques éléments que nous avons rassemblés ici vont au contraire dans le sens d'une compétence particulière de l'HD, et cette particularité pourrait témoigner du fait que cette compétence corresponde à une opération spécifique. Comme nous l'avons expliqué, il pourrait bien s'agir d'une désélection, permettant d'abandonner un mode de traitement en l'inhibant, avant la commutation vers un mode de traitement plus adapté.

Expérience 1c

L'Expérience 1c est destinée à tester si le fait de ne pas connaître à l'avance la catégorie dont le stimulus hiérarchisé sera composé empêche l'apparition d'une différence de dominance hémisphérique selon la catégorie du matériel, surtout pour le traitement au niveau local. A ce propos, notre hypothèse opérationnelle est donc la suivante :

Hypothèse opérationnelle 1b : *contrairement aux effets de dominance hémisphérique observés pour le traitement de lettres hiérarchisées et de dessins d'objets hiérarchisés présentés dans des blocs séparés, la présentation mélangée de stimuli de ces deux catégories devrait donner lieu à des effets de dominance hémisphérique uniquement déterminés par des mécanismes latéralisés selon leur compétence pour l'analyse globale ou locale. Pour le niveau local, nous attendons donc un avantage de l'HG quelle que soit la catégorie, et un avantage de l'HD pour le niveau global.*

1. Méthode

1.1. Participants

Trente-deux étudiants de licence en Psychologie à l'Université Lyon 2 (moyenne d'âge = 22.7 ans et écart-type = 1.4), dont 22 filles et 10 garçons, ont participé à cette expérience. Ils ont reçu un crédit de 0.5 point pour un examen. Ils sont tous droitiers (plus de 80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh) et ont une vue normale ou corrigée. Ils ont rempli un formulaire de consentement avant l'expérience.

1.2. Stimuli

Les stimuli sont des lettres et des dessins hiérarchisés identiques à ceux utilisés dans les Expériences 1a et 1b. La liste comporte 260 stimuli dont 48 stimuli expérimentaux et 212 distracteurs.

Les stimuli expérimentaux sont 24 lettres hiérarchisées et 24 dessins hiérarchisés, chacune de ces catégories étant répartie de manière équivalente dans l'un ou l'autre champ visuel de présentation unilatéral. Comme dans les Expériences 1a et 1b, les lettres sont les suivantes, M, E, H, T et A. La lettre E est l'une des deux cibles et apparaît aussi souvent au niveau global, qu'au niveau local. Les dessins sont : une lune, une étoile, un champignon, une croix ou un cœur. L'étoile est l'autre cible présente dans les mêmes proportions soit au niveau local, soit au niveau global.

La plupart des stimuli distracteurs (196) sont similaires aux stimuli expérimentaux, et servent à constituer le contexte avant les changements de niveau : les séries de stimuli contenant une cible à un même niveau vont de 1 à 5. D'autres distracteurs (64) sont des stimuli hiérarchisés ne comportant aucune des cibles (ni le E, ni l'étoile). Leur présence rend inefficace une éventuelle stratégie qui consisterait à se baser sur la simple catégorisation en « lettres hiérarchisées » versus « dessins hiérarchisés » pour donner la bonne réponse. Dans ces stimuli, aucune cible n'étant présente, le participant doit appuyer sur la barre espace. Comme les autres stimuli distracteurs, ces distracteurs « négatifs » sont répartis de manière équivalente selon leur catégorie dans l'un et l'autre champ visuel.

Chaque stimulus expérimental est directement précédé d'un distracteur, toujours présenté dans le même champ visuel, et qui contient toujours l'autre cible (il relève donc systématiquement de l'autre catégorie) présentée à l'autre niveau. Cette expérience n'a pas pour objectif de tester une hypothèse particulière concernant l'effet du nombre de répétition de traitement à un même niveau avant l'alternance, mais étant donné que des effets de répétitions importants sont apparus dans les deux expériences précédentes, nous avons pris la précaution d'équilibrer, entre les différentes conditions expérimentales, les proportions de stimuli expérimentaux précédés de 2 ou 4 répétitions de traitement à un autre niveau. Comme dans les deux expériences précédentes, il n'y a aucune régularité détectable au fil de la liste, le nombre important de distracteurs étant en partie destiné à éviter que la cible, son niveau d'apparition, ou son champ visuel d'apparition puisse être prédit. La liste complète des stimuli est répartie en 2 blocs A et B, la moitié des participants commençant par le bloc A, les autres par le bloc B ; les 2 blocs contiennent les mêmes séries de stimuli, mais présentés dans le champ visuel opposé.

1.3. Procédure et matériel

Le matériel informatique, les durées de présentations des stimuli, leur enchaînement dans chaque essai et leur emplacement sur l'écran sont les mêmes que dans les Expériences 1a et 1b. Le participant a pour consigne de détecter la présence d'une étoile ou d'un E, que se soit au niveau global ou local en appuyant sur les touches respectives (portant la gommette E ou étoile) et sur la barre Espace si le stimulus ne contient aucune cible. Cinq pauses ponctuent l'épreuve qui dure 30 minutes.

2. Résultats

Une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée sur les moyennes des TR et sur les pourcentages d'erreurs, avec trois facteurs intra-individuels, catégorie (lettre, dessin), niveau (global, local) et champ (CVG-HD, CVD-HG). Les temps supérieurs à la moyenne plus deux

écarts-types ou inférieurs à la moyenne moins deux écarts-types de la condition et du sujet concernés ont été exclus de l'analyse.

L'analyse des TR montre un effet de la catégorie, $F(1, 31) = 13.63$, $p = .001$, avec des TR plus rapides (747 ms) pour les lettres hiérarchisées que pour les dessins hiérarchisés (805 ms). Elle révèle aussi un effet du niveau, $F(1, 31) = 13.75$, $p = .001$, avec des réponses plus rapides pour les cibles au niveau local (757 ms) qu'au niveau global (795 ms) et un effet du champ, $F(1, 31) = 20.31$, $p = .0001$, indiquant des réponses plus rapides si la cible est présentée en CVD-HG (755 ms) plutôt qu'en CVG-HD (798 ms). L'interaction Niveau X Champ n'atteint pas le seuil de significativité, $F(1, 31) = 2.71$, $p = .11$, et conformément à notre attente l'interaction Champ X Niveau X Catégorie non plus, $F(1, 31) < 1$. Comme l'illustre la Figure 14, le niveau local, sur lequel notre hypothèse porte principalement, est en effet traité plus rapidement dans le CVD-HG que dans le CVG-HD aussi bien pour les lettres, $F(1, 31) = 5.97$, $p = .021$ (CVD-HG = 694 ms ; CVG-HD = 754 ms) que pour les dessins, $F(1, 31) = 4.73$, $p = .037$ (CVD-HG = 764

ms ; CVG-HD = 817 ms). Bien qu'un avantage pour le CVD – HG semble aussi se dessiner pour le niveau global, celui-ci n'atteint cependant pas le seuil de significativité, $F(1,31) = 2.71$, $p = .1$, et cette absence de significativité s'observe aussi séparément sur les lettres, $F(1,31) < 1$ et sur les dessins, $F(1,31) = 2.79$, $p = .11$ ni pour les dessins.

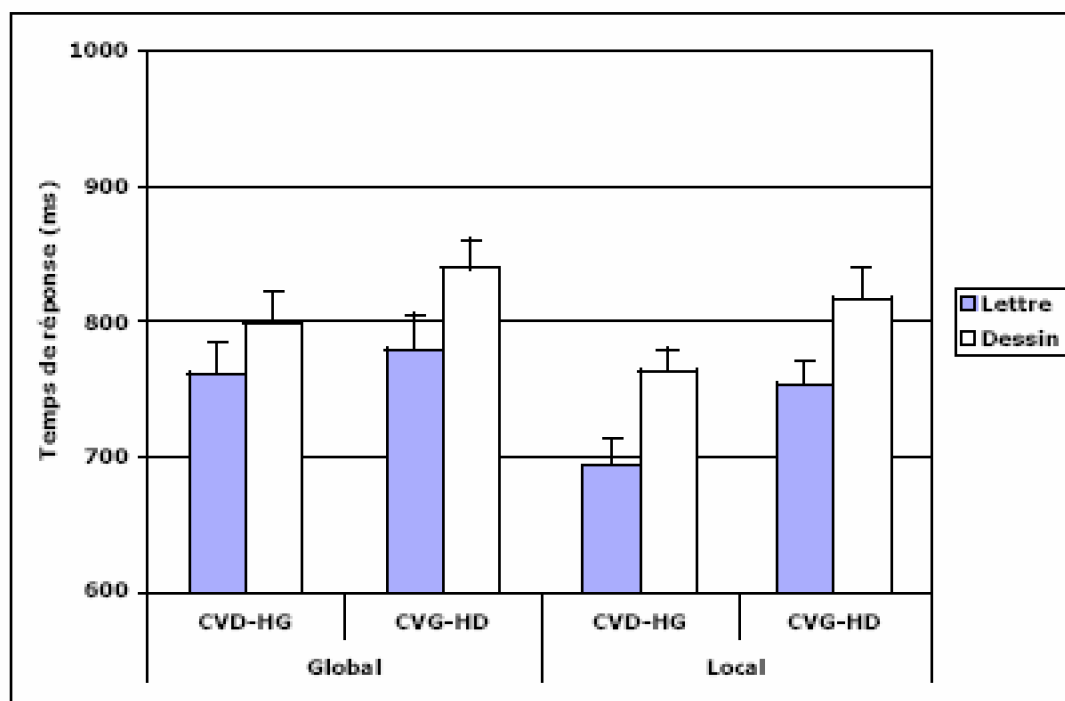


Figure 14. Temps de réponses moyens et erreurs standard dans l'Expérience 1c selon la catégorie, le niveau et le champ visuel de présentation.

Le pourcentage d'erreurs moyen est plus élevé (5.35%) dans cette expérience que dans les Expériences 1a et 1b qui présentaient les lettres et les dessins dans des épreuves séparées. Nous observons seulement un effet principal de la catégorie avec moins d'erreurs pour les lettres (1%) que pour les dessins (9.7%), $F(1, 31) = 40.00$, $p = .0001$.

3. Discussion

Avant de commenter les effets directement relatifs à l'hypothèse ayant motivé cette expérience, nous soulignerons simplement deux aspects des résultats permettant de conforter des phénomènes déjà observés dans les deux expériences précédentes. Tout d'abord, bien que les catégories soient cette fois mélangées dans la liste, nous observons toujours l'avantage pour le traitement des lettres par rapport à celui des dessins d'objets, ceci à la fois sur les temps de réponse et sur les pourcentages d'erreurs. Chez les adultes testés ici, la familiarité du matériel alphabétique semble donc toujours exercer un effet positif sur les performances. Par ailleurs, comme nous l'avons observé dans les Expériences 1a et 1b, l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau détériore les performances, mais seulement pour le passage du niveau local au

niveau global. Dans l'Expérience 1c, ce phénomène se vérifie non seulement à travers l'analyse de l'exactitude des réponses, mais aussi à travers celle des latences. Cette asymétrie de l'effet négatif de l'augmentation des répétitions avant le changement, selon le sens du passage entre niveaux, sera commentée dans la discussion générale proposée à l'issue des expériences réalisées auprès des adultes.

Les données issues de l'Expérience 1c apportent de premiers arguments favorables à l'**Hypothèse 1b**. Telle que Fink et ses collègues l'expriment, l'hypothèse d'une modulation exercée par la catégorie sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux est issue d'un processus de haut niveau, qui établit des règles de fonctionnement en amont, ce qui ne semble possible qu'en s'appuyant sur la certitude que les stimuli à venir seront d'une certaine catégorie, afin de déterminer une fois pour toute (au moins pour une série de traitements répétitifs) le mode d'engagement de mécanismes latéralisés. Autrement dit, cette influence ne serait pas déclenchée par la découverte de la catégorie à laquelle le stimulus appartient. Cela signifie aussi qu'une telle influence ne peut s'établir qu'à partir d'une certaine confiance du sujet à propos de la catégorie des stimuli à venir. Aussi, l'influence qui nous intéresse ne devait pas pouvoir s'exercer dans l'Expérience 1c, où l'appartenance catégorielle des stimuli n'est pas certaine à l'avance.

Or, il apparaît que le mélange de lettres hiérarchisées et de dessins d'objets hiérarchisés dans l'Expérience 1c ne s'accompagne pas des mêmes phénomènes de modulation que ceux exercés par les catégories dans les Expériences 1a et 1b, sur les dominances hémisphériques pour le traitement des niveaux. En effet, L'analyse des données de l'Expérience 1c ne fait pas ressortir d'interaction Champ X Niveau X Catégorie, alors que cette interaction est significative dans l'analyse rassemblant les Expériences 1a et 1b. Cela constitue une première remarque compatible avec l'Hypothèse 1b : rien ne permet de dire que, dans l'épreuve mélangeant les catégories de stimuli, la dominance hémisphérique soit modulée par ces catégories. De plus, nous avons des attentes particulièrement précises concernant le traitement du niveau local. Alors que la dominance hémisphérique pour ce niveau variait selon la catégorie dans les Expériences 1a et 1b, nous observons ici un avantage significatif de l'HG pour le traitement local quelle que soit la catégorie. Aussi, il semble que le processus induisant la modulation de l'implication de mécanismes latéralisés selon leur compétence pour traiter certaines catégories, dans les expériences présentant des stimuli hiérarchisés, suit des règles pouvant être établies à haut niveau, qui ne dépendraient pas de l'identification de la catégorie du stimulus lui-même, mais des attentes à ce sujet.

Deux aspects des résultats posent néanmoins quelques problèmes pour l'interprétation des données. L'un et l'autre pourraient être liés au degré de difficulté particulièrement élevé de cette épreuve.

Le premier résultat étonnant est qu'il y a, dans cette expérience, un avantage pour le niveau local. Nous avons pourtant pris soin d'équilibrer la difficulté de discrimination des cibles entre les niveaux en choisissant les caractéristiques physiques du matériel, et cet équilibre se manifestait comme nous l'espérions dans les Expériences 1a et 1b, avec une absence d'effet du niveau sur les performances. Par contre, il apparaît que dans l'Expérience 1c la discrimination de cibles est plus rapide au niveau local qu'au niveau

global. Or, selon l'interprétation de Fink et ses collègues (1997b), la différence d'engagement de mécanismes latéralisés selon leur compétence pour l'une ou l'autre catégorie est destinée à compenser la difficulté généralement plus grande du traitement local. Comme nous observons ici, au contraire, une plus grande facilité de traitement au niveau local, il se peut que la faible difficulté posée par ce niveau n'ait pas incité à mettre en place un processus attentionnel destiné à compenser la vulnérabilité de l'information locale. Cela constitue une explication possible pour l'absence d'indice de modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local dans l'Expérience 1c, et cette explication est en concurrence avec celle que propose notre hypothèse. Aussi, il paraît souhaitable de refaire cette expérience dans des conditions qui ne favorisent plus l'apparition d'un avantage du niveau local. Notre hypothèse est alors que, malgré la disparition de l'avantage du niveau local, le traitement de ce niveau sera encore l'objet d'une dominance hémisphérique exclusivement déterminée par des mécanismes latéralisés pour leur compétence à traiter ce niveau (HG), et non pour leur compétence à traiter une certaine catégorie, étant donné que ces catégories sont variables dans la liste. L'Expérience 2c permettra de tester cette attente et le moyen proposé pour faire disparaître l'avantage du niveau local est de rendre la tâche plus facile dans son ensemble. En effet, dans la partie 2.3. du Chapitre I, nous avons insisté sur l'importance des effets liés à la tâche, à l'égard de l'avantage d'un niveau sur l'autre. Par exemple, un avantage du niveau global est plus fréquent dans une épreuve d'attention focalisée que dans une épreuve d'attention divisée : l'avantage du niveau global serait dans ce dernier cas masqué par le mécanisme d'alternance entre les niveaux (Han, Yund, & Woods, 2003 ; Lux, Thimm, Marshall et Fink, 2006 ; Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999). Du point de vue de l'alternance, l'Expérience 1c a la particularité de nécessiter non seulement de fréquents changements entre niveaux, mais aussi des changements entre catégories de matériel à traiter et entre réponses, puisque chaque item expérimental fait l'objet d'un changement systématique de la réponse par rapport à l'item précédent. Si les mécanismes gérant des changements sont susceptibles de réduire l'avantage du niveau global, dans un matériel physiquement déjà peu propice à le faire émerger, nous avons donc intérêt à proposer une liste dans laquelle l'item expérimental requiert seulement un changement de niveau (et non de catégorie ou de réponse) : c'est ce que proposera l'Expérience 2c.

Le deuxième résultat étonnant dans l'Expérience 1c est l'absence d'avantage hémisphérique pour le traitement global des lettres et des dessins d'objets hiérarchisés. Il est toujours délicat d'interpréter une absence d'effet. Il est toutefois étonnant de n'avoir trouvé ici aucune dominance de l'HD pour le traitement global (que ce soit pour les lettres ou les dessins d'objets), alors que nous l'obtenions par exemple pour l'Expériences 1a sur les lettres. Nous proposons de rapprocher ce constat d'une observation relatée dans la partie 3.3.3. du Chapitre I. S'il est vrai que les méta-analyses compilant les résultats de plusieurs expériences ont largement contribué à décrire un avantage de l'HD pour le traitement global et un avantage de l'HG pour le traitement local, assez peu d'expériences sont parvenues à montrer simultanément ces deux effets. Plus particulièrement, il existe beaucoup de cas d'expériences faisant état d'un avantage de l'HG pour le niveau local, non assorti de l'avantage de l'autre hémisphère pour le niveau global (Evert & Kmen, 2003 ; Hübner, 1997 ; Mondloch, Geldart, Maurer, & de Schonen, 2003 ; Yovel, Yovel, &

Levy, 2001).

Il se peut que l'Expérience 1c reflète simplement cette limite. L'avantage général constaté pour l'HG dans l'Expérience 1c, quels que soient le niveau d'analyse et la catégorie, pourrait aussi s'expliquer par l'importance du degré de difficulté de cette épreuve. Les items expérimentaux de l'Expérience 1c nécessitent, nous l'avons rappelé, non seulement le changement du niveau, mais aussi celui de la catégorie et celui de la réponse à sélectionner et à programmer. L'élévation de la difficulté impose peut-être un recrutement plus important des fonctions exécutives. Or, l'HG tient un grand rôle dans ces fonctions (en particulier lorsque l'association entre le stimulus et la réponse est complexe) et cela explique peut-être pourquoi un avantage général de l'HG est observé ici, y compris au niveau local sans qu'aucune modulation par les catégories ne soit perceptible. Des travaux montrent par exemple que les réponses sont plus rapides pour des stimuli présentés en CVD qu'en CVG si la sélection de la réponse motrice est difficile (Spironelli, Tagliabue, & Angrilli, 2006) ; d'autres recherches montrent aussi que la sélection et la reprogrammation de la réponse impliquent surtout des aires cérébrales latéralisées dans l'HG (Mars, Piekema, Coles, Hulstijn, & Toni, sous presse ; Rushworth, Krams, & Passingham, 2001 ; Schuster, Krams, Rushworth, & Passingham, 2001). Des observations neuropsychologiques montrent également que des lésions pariétales inférieures gauches se traduisent par des difficultés dans les tâches imposant de fréquents passages d'un niveau à l'autre, ce qui souligne encore l'importance de l'HG pour le traitement des changements (Lamb et al., 1990 ; Robertson, Lamb, & Knight, 1998). Cela suggère, là encore, une interprétation concurrente à celle proposée dans notre hypothèse pour interpréter la disparition de l'inversion de dominance hémisphérique au niveau local en fonction de la catégorie. C'est la deuxième raison pour laquelle nous réaliserons l'Expérience 2c, semblable à l'Expérience 1c, mais n'impliquant plus les difficultés imposées par le changement de catégorie et de réponse à sélectionner et programmer entre chaque item expérimental et celui qui le précède. Nous espérons ainsi faire disparaître l'avantage général de l'HG, tout en maintenant une configuration de résultats conforme à l'Hypothèse 1b, avec une dominance de l'HG au niveau local quelle que soit la catégorie, pour le traitement d'une liste mélangeant lettres et dessins d'objets hiérarchisés.

La série d'expériences suivantes est donc conduite sur le même principe que les Expériences 1a, 1b et 1c, mais propose de réduire la difficulté de la décision pour les items expérimentaux, en faisant en sorte que le changement de niveau ne se double pas d'un changement concernant la sélection de la réponse et la programmation motrice. Il existe en effet des arguments pour penser que les mécanismes remplissant ces fonctions sont eux-mêmes latéralisés, impliquant surtout des structures cérébrales gauches, et cela a pu masquer ou atténuer les effets d'asymétrie hémisphérique étudiés dans nos expériences, en lien avec les niveaux d'analyse et les catégories (directement linguistiques ou non) des stimuli.

Expériences 2a et 2b

L'objectif des Expériences 2a et 2b est de tester les mêmes hypothèses que celles qui motivaient les Expériences 1a et 1b, mais en supprimant un biais. Dans la précédente série d'épreuves, les items expérimentaux imposaient non seulement un changement de niveau d'analyse, mais aussi un changement concernant la sélection de la réponse et la programmation motrice. Cela pouvait induire deux choses. Tout d'abord, cela élevait sans doute la difficulté générale de l'épreuve, ce qui est connu pour imposer bien souvent des demandes attentionnelles importantes et mobiliser des structures cérébrales de l'HG : cela pourrait avoir masqué en partie les effets d'asymétrie hémisphérique étudiés ici. Par ailleurs, les changements nécessaires pour la sélection de la réponse et la programmation motrice ont pu impliquer des mécanismes supplémentaires, eux-mêmes susceptibles de reposer sur des structures cérébrales latéralisées, là aussi dans l'HG, ce qui pourrait avoir encore contribué à obscurcir la configuration générale des résultats quant aux indices d'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local selon la catégorie. Nous espérons donc répliquer ici, de manière plus convaincante, les effets obtenus dans les Expériences 1a et 1b.

Pour des raisons de commodité de présentation, les méthodes des Expériences 2a et 2b seront d'abord présentées. Viendra ensuite l'exposé de leurs résultats respectifs et leur discussion. Il sera ensuite question de l'Expérience 2c, complémentaire. Une dernière expérience conduite auprès d'adultes, avec cette fois une manipulation intra-individuelle du facteur catégorie, sera enfin relaté (Expérience 3), de même qu'une épreuve d'attention focalisée (Expérience 4). Nous clôturerons ce chapitre par une discussion générale à propos de l'ensemble des résultats chez l'adulte.

1. Méthode de l'Expérience 2a

1.1. Participants (Expérience 2a)

Trente-deux étudiants de l'Université Lyon 2 (20 filles et 12 garçons) ont participé à cette expérience (moyenne d'âge = 22.6 ans ; l'écart-type = 1.4). Ils sont tous droitiers (plus de 80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh). Leur vue est normale ou corrigée. Tous les participants ont rempli un formulaire de consentement.

1.1. Stimuli matériel et procédure (Expérience 2a)

Les stimuli, le matériel informatique et la tâche sont les mêmes que dans l'Expérience 1a. Les proportions de stimuli dans chacune des conditions issues de la combinaison des facteurs niveau, champ et répétition sont équilibrées. La seule différence consiste en un contrôle précis de la touche de réponse utilisée avant chaque stimulus expérimental : l'ordre des stimuli sur l'ensemble de la liste est pour cela modifié. Comme dans l'Expérience 1a, chaque stimulus expérimental est précédé d'un distracteur dont la cible est située à un autre niveau, afin qu'un *switch* entre niveaux soit nécessaire pour traiter la cible dans le stimulus, et ce distracteur est présenté dans le même champ visuel. Toutefois, contrairement à l'Expérience 1a, ce distracteur contient la même cible que celle présentée dans le stimulus expérimental qui suit. Ainsi, la touche de réponse est la même

pour le stimulus expérimental et celui qui le précède. Entre le stimulus expérimental « n » et le stimulus « n-1 », seul le niveau de la cible change. Comme dans l'Expérience 1a, 50% des stimuli expérimentaux sont précédés de deux stimuli pour lesquels la cible est située à un autre niveau (condition 2 répétitions) et 50% sont précédés de quatre stimuli contenant la cible à un niveau différent (condition 4 répétitions). Le grand nombre de stimuli distracteurs (120) a permis, ici encore, de faire en sorte qu'au fil de la liste le niveau, le champ de présentation et la cible ne puissent être prédits efficacement.

1. Méthode de l'Expérience 2b

1.1. Participants (Expérience 2b)

Trente-deux étudiants droitiers (plus de 80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh) de l'Université Lyon 2, différents de ceux de l'Expérience 2a, ont participé à cette expérience. Le groupe de participants est constitué de 19 filles et de 13 garçons (moyenne d'âge de 22.50 ans; écart-type de 3.02). Tous ont une vue normale ou corrigée et ont rempli un formulaire de consentement.

1.2. Stimuli matériel et procédure (Expérience 2b)

Les stimuli, le matériel informatique et la tâche sont les mêmes que dans l'Expérience 1b. Comme dans l'Expérience 2a, nous avons introduit une seule différence : chaque stimulus expérimental requiert la même touche de réponse que le distracteur qui précède.

2. Résultats des Expériences 2a et 2b

Nous avons effectué dans un premier temps une analyse globale des données des Expériences 2a et 2b. Il s'agit d'une analyse de variance à mesures répétées sur les TR pour les décisions exactes d'une part et sur les pourcentages d'erreurs d'autre part, avec le facteur inter-individuel catégorie (lettre, dessin), et trois facteurs intra-individuels : niveau (global, local), champ (CVG-HD, CVD-HG) et répétition (2 répétitions, 4 répétitions). Nous avons exclu de l'analyse les temps déviants (supérieurs à la moyenne plus deux écarts-types ou inférieurs à la moyenne moins deux écarts-types pour la condition considérée). Comme pour les Expériences 1a et 1b, nous avons ensuite réalisé des analyses séparées sur chaque expérience, étant donné l'influence du facteur inter-individuel catégorie et les interactions auxquelles il participe

L'analyse globale des TR révèle un effet de la catégorie, $F(1, 62) = 12.15$, $p = .001$, avec des TR plus courts pour les lettres (687 ms) que pour les dessins (800 ms). Nous relevons également un effet du nombre de répétitions avant le changement de niveau, $F(1, 62) = 22.99$, $p = .0001$, avec des temps de réponse plus longs en condition 4 répétitions (762 ms) qu'en condition 2 répétitions (724 ms). L'interaction Niveau X Répétition est significative, $F(1, 62) = 4.63$, $p = .035$. L'augmentation du nombre de répétitions d'un même niveau de traitement avant l'alternance altère la performance pour le changement dans chaque sens : comme le montre la Figure 15 les TR sont rapides en

condition 2 répétitions (733 ms) qu'en conditions 4 répétitions (755 ms), $F(1, 31) = 4.34$, $p = .041$, pour le passage du niveau local au niveau global mais aussi pour le passage du niveau global au niveau local (715 ms après 2 répétitions et 769 ms après 4 répétitions), $F(1, 62) = 26.29$, $p = .0001$. Toutefois, un test T de Student comparant les deux différences montre que l'effet d'augmentation des répétitions qui s'exerce sur le passage du niveau global au niveau local est significativement plus fort dans cette expérience, $t(1, 62) = 4.83$, $p = .018$

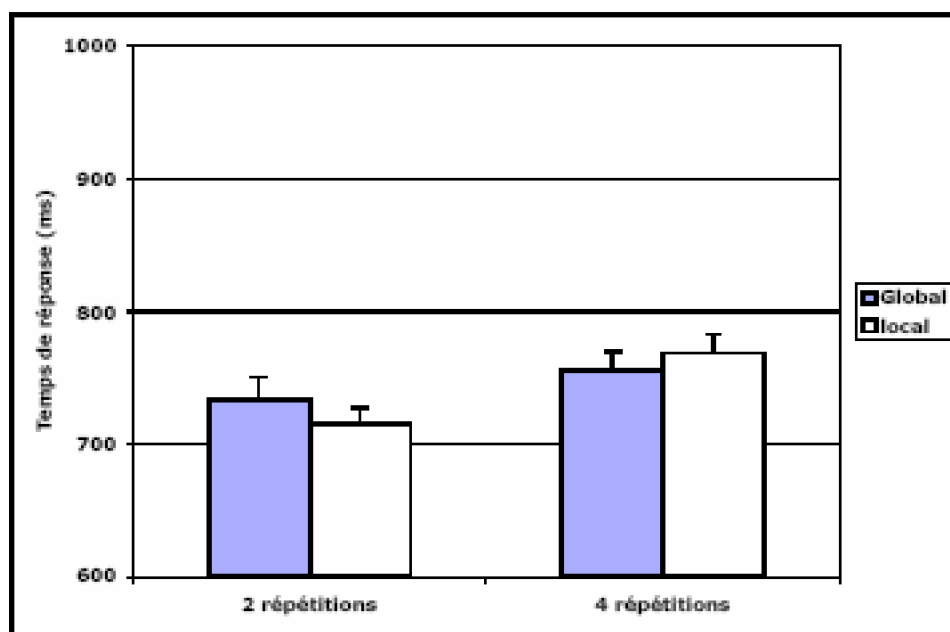


Figure 15. Temps de réponses et erreurs standard dans les Expériences 2a et 2b selon le niveau et le nombre de répétitions.

Contrairement à notre attente, l'interaction Champ X Niveau X Catégorie n'est pas le seuil de significative, $F(1, 62) = 1.26$, $p = .265$. Toutefois, la Figure 16 fait ressortir la modulation prédite de l'effet du champ visuel selon la catégorie pour le niveau local. Alors que les cibles locales sont plus rapidement traitées en CVD-HG dans les lettres hiérarchisées, $t(1, 31) = 2.31$, $p = .013$, l'effet du champ visuel n'est pas significatif pour les cibles locales dans les dessins hiérarchisés, $t(1, 31) = 1.62$, $p = .093$.

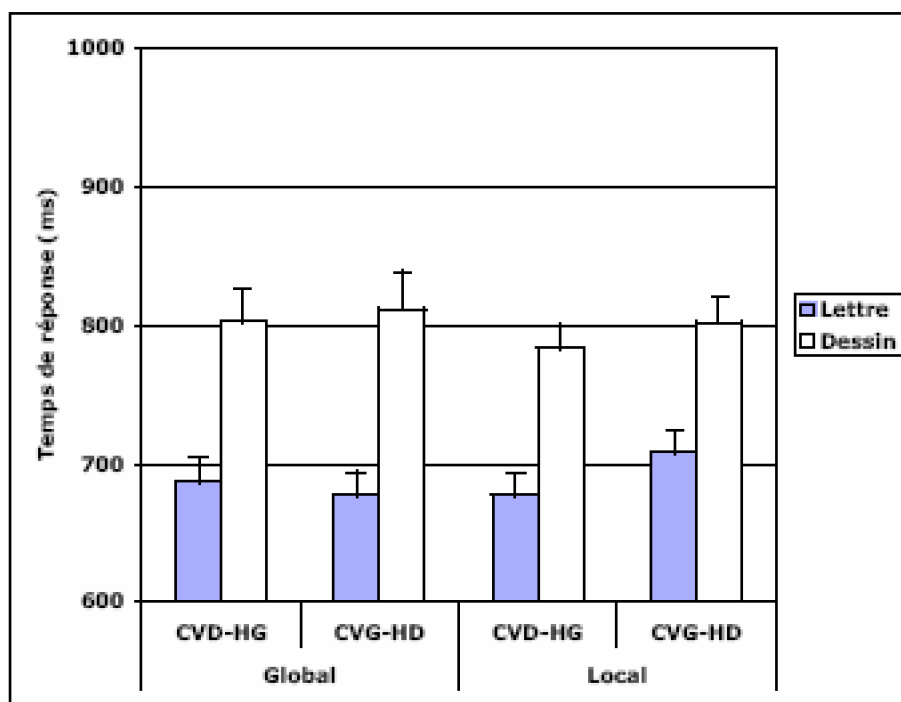


Figure 16. Temps de réponses et erreurs standard pour les Expériences 2a et 2b selon la catégorie, le champ de présentation.

L'analyse globale des pourcentages d'erreurs ne montre aucun effet significatif des facteurs catégorie, niveau et répétition. En revanche, l'effet du champ est significatif, $F(1, 62) = 5.824$, $p = .019$, avec un pourcentage d'erreurs plus faible en CVG-HD (3.2%) qu'en CVD-HG (4.9%). L'interaction Champ X Niveau X Catégorie attendue dans l'hypothèse est significative, $F(1, 62) = 8.769$, $p = .004$. Comme nous pouvons le lire sur la Figure 17 cette interaction reflète pour chaque niveau une inversion de l'asymétrie hémisphérique selon la catégorie des stimuli, ce qui semble particulièrement net pour le niveau local. Afin de décrire plus précisément ces effets, des analyses de variances séparées ont été réalisées sur les lettres et les dessins, et seront présentées après cette analyse portant globalement sur les données des Expériences 1a et 1b.

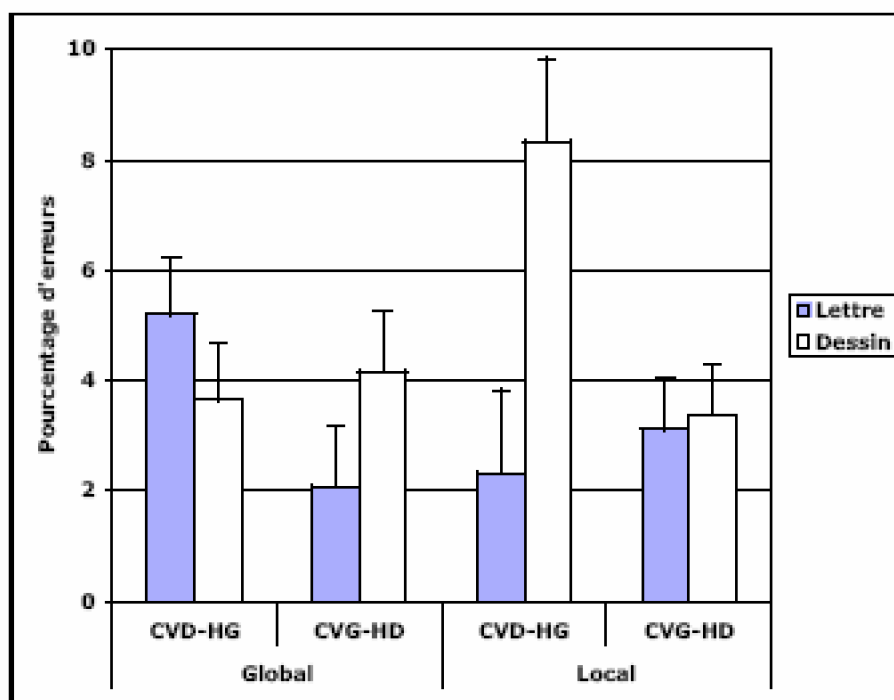


Figure 17. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard les Expériences 2a et 2b selon la catégorie, le champ de présentation et le niveau.

Dans l'immédiat, des analyses partielles portant l'une sur les erreurs au niveau local, l'autre sur les erreurs au niveau global, révèlent que l'interaction Champ X Niveau n'atteint vraiment le seuil de significativité qu'au niveau local, $F(1, 62) = 5.98, p = .017$, et pas tout à fait au niveau global, $F(1, 62) = 3.85, p = .054$. Aussi, la modulation de l'asymétrie hémisphérique selon la catégorie du matériel semble-t-elle particulièrement marquée au niveau local : pour les dessins d'objets, ce niveau est traité de manière plus exacte en CVG-HD (3.4% d'erreurs) qu'en CVD – HG (8.3% d'erreurs), $t(1, 31) = 2.55, p = .008$, alors que ce n'est pas le cas pour les lettres. Le niveau global est, quant à lui, caractérisé par un avantage en CVG – HD (2.1% d'erreurs) par rapport au CVD – HG (5.2% d'erreurs) pour les lettres $t(1, 31) = 2.55, p = .0079$, mais pas pour les dessins.

Enfin, l'interaction Répétition X Champ est proche de la significativité, $F(1, 62) = 3.54, p = .064$, ce qui reflète le même type de phénomène que dans les Expériences 1a et 1b, à savoir :

- un avantage en l' HD dans la condition où l'alternance est rendue particulièrement difficile par de nombreuses répétitions préalables à un autre niveau de traitement (condition 4 répétitions), $F(1, 62) = 10.55, p = .002$.
- une détérioration des performances par l'augmentation du nombre de ces répétitions préalables seulement en CVD – HG, $F(1, 62) = 6.31, p = .015$, et pas en CVG – HD, $F(1, 62) = 1$, comme l'illustre la Figure 18.

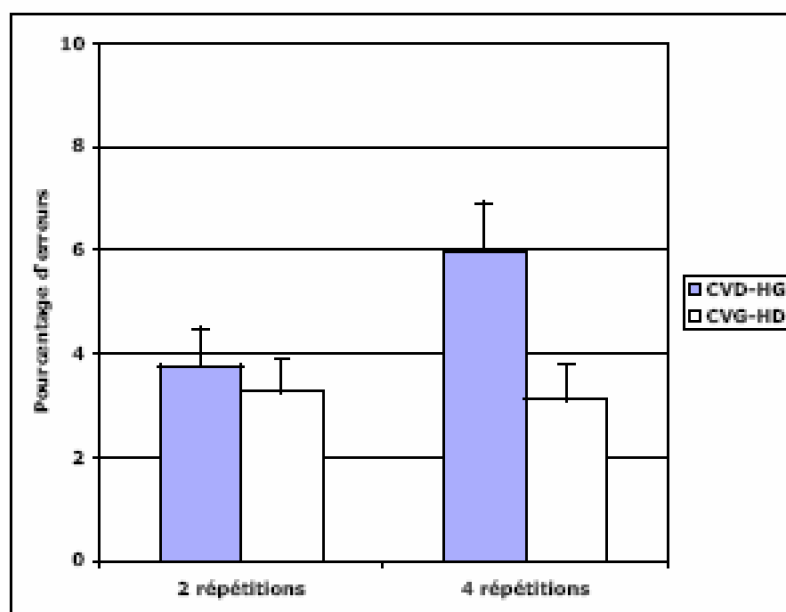


Figure 18. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard les Expériences 2a et 2b selon le champ visuel de présentation et le nombre de répétitions.

Nous avons effectué pour les Expérience 2a et 2b des analyses de la variance à mesures répétées séparées, sur les TR exacts et sur les pourcentages d'erreurs, avec les facteurs intra-individuels champ (gauche, droit), niveau (global, local) et répétition (2 répétitions, 4 répétitions).

L'analyse des TR pour l'Expérience 2a (lettres) fait ressortir l'effet du facteur répétition, $F(1, 31) = 12.62$, $p = .001$, avec des réponses plus rapides en condition 2 répétitions (667 ms) qu'en condition 4 répétitions (707 ms). Bien que le niveau et le champ n'exercent pas d'effet principal, l'interaction Champ X Niveau est significative, $F(1, 31) = 5.58$, $p = .024$. Comme le montre la Figure 19 le niveau local est traité plus rapidement en CVD-HG (676 ms) qu'en CVG-HD (708 ms), $F(1, 31) = 6.409$, $p = .016$. En revanche, pour le niveau global, la tendance inverse se dessine. De plus, les TR plus brefs pour les cibles au niveau global (677 ms) qu'au niveau local (708 ms) uniquement en CVG-HD, $F(1, 31) = 6.307$, $p = .017$, pourraient traduire la spécialisation classique de l'HD pour le traitement du niveau global. Par contre, l'interaction Répétition X Niveau observée dans l'analyse rassemblant les Expériences 2a et 2b n'est pas confirmée dans la seule expérience sur les lettres (2a), $F < 1$.

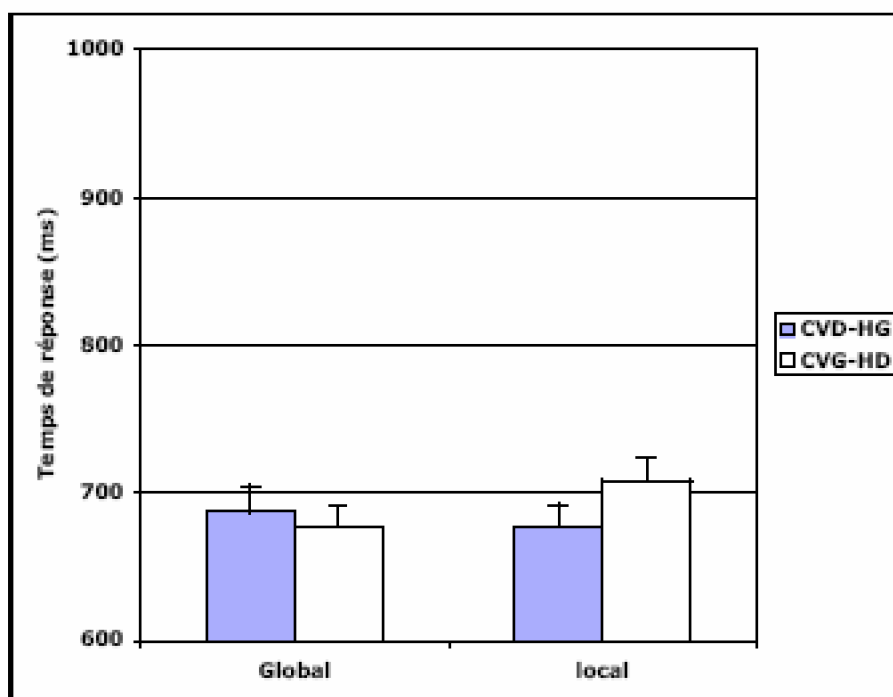


Figure 19. Temps de réponses moyens et erreurs standard dans l'Expérience 2a selon le champ visuel de présentation et le niveau.

L'analyse des pourcentages d'erreurs pour l'Expérience 2a (lettres) ne montre pas non plus d'effet significatif des facteurs champ et niveau, mais l'effet du facteur répétition est significatif, $F(1, 31) = 6.82$, $p = .014$, avec moins d'erreurs en condition 2 répétitions (2.2%) qu'en condition 4 répétitions (4.2%). L'interaction Champ X Niveau est significative, $F(1, 31) = 4.195$, $p = .049$ (voir Figure 20). L'analyse des contrastes montre que le niveau global est mieux traité dans le CVG-HD (2.1%) que dans le CVD-HG (5.2%), $F(1, 31) = 5.369$, $p = .027$, ce qui n'est pas le cas pour le niveau local ($F < 1$), comme le montre la Figure 20. De plus, dans le CVD-HG, le pourcentage d'erreurs est plus faible pour le niveau local (2.3%) que pour le niveau global (5.2%), $F(1, 31) = 4.513$, $p = .042$, ce qui pourrait traduire une spécialisation de l'HG pour le traitement du niveau local.

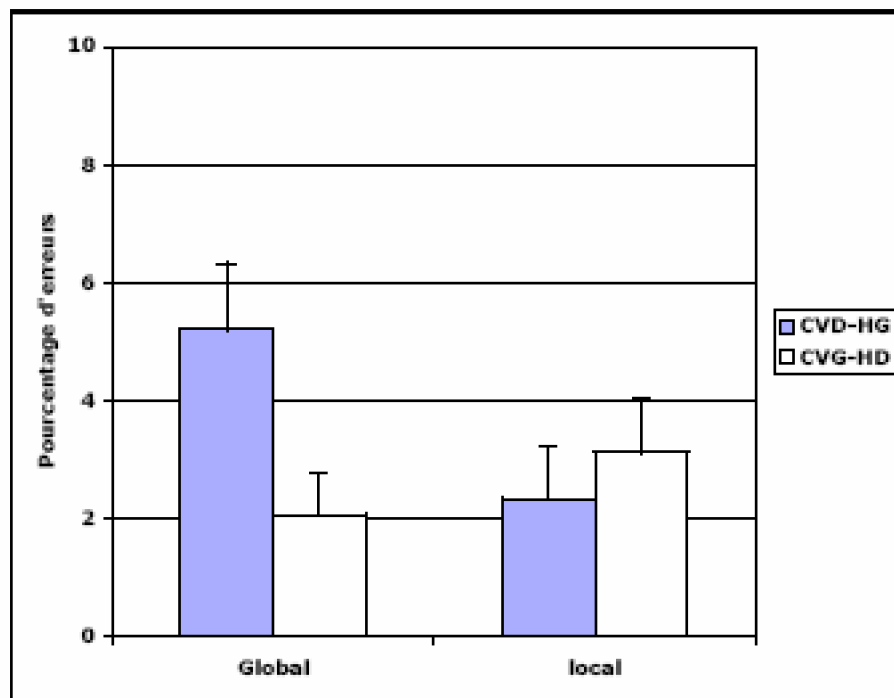


Figure 20. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard dans l'Expérience 2a selon le champ visuel de présentation et le niveau.

Par ailleurs, nous relevons une interaction Champ X Répétition, $F(1, 31) = 5.43$, $p = .027$. L'analyse des contrastes montre qu'en CVD-HG, le pourcentage d'erreurs est plus élevé en condition 4 répétitions (5.7%) qu'en condition 2 répétitions (1.8%), $F(1, 31) = 10.91$, $p = .002$, ce qui n'est pas le cas en CVG - HD ($F < 1$), comme le montre la Figure 21. Par ailleurs, cette interaction s'explique aussi par le fait que, les erreurs sont plus nombreuses en CVD - HG (5.7%) qu'en CVG - HD (2.6%), $F(1, 31) = 6.980$, $p = .013$ dans la condition rendant l'alternance particulièrement difficile (4 répétitions), mais pas dans la condition 2 répétitions ($F < 1$), ce qui pourrait traduire une vulnérabilité particulière de l'HG à la contrainte imposée par un grand nombre de répétitions avant un changement de niveau.

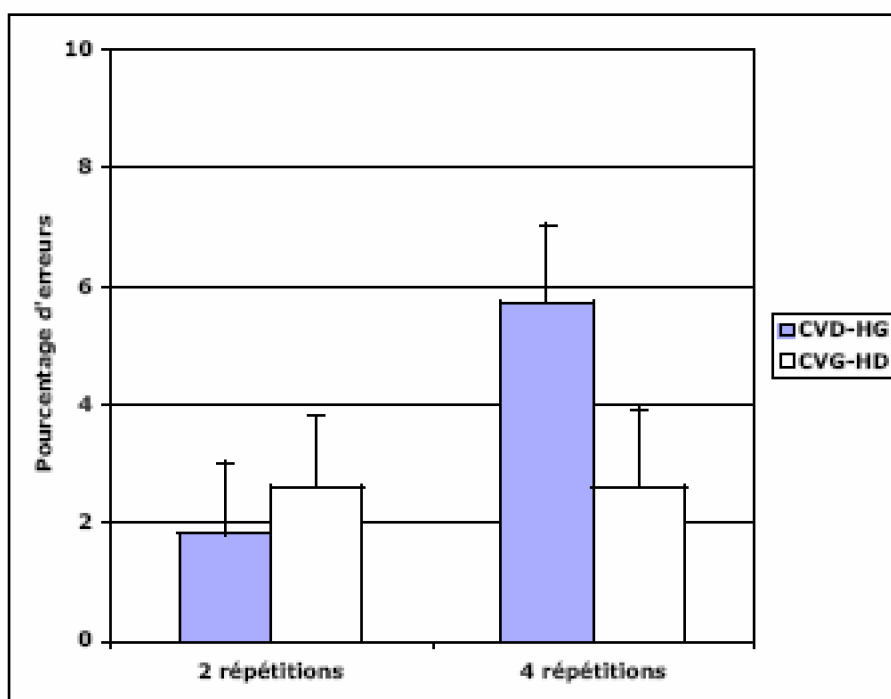


Figure 21. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard dans l'Expérience 2a selon le champ visuel de présentation et le nombre de répétitions.

L'analyse des TR pour l'Expérience 2b (dessins) ne fait pas apparaître d'effet du niveau ni du champ visuel ni l'interaction entre les deux, mais révèle un effet du facteur répétition, $F(1, 31) = 10.42$, $p = .0029$. Lors d'un changement de niveau, les TR sont plus longs après 4 répétitions à un autre niveau (818 ms) qu'après 2 répétitions (782 ms). Comme l'illustre la Figure 22 les facteurs champ et répétition interagissent, $F(1, 31) = 4.21$, $p = .048$. L'analyse des contrastes montre que l'accroissement des TR avec le nombre de répétitions est significatif dans le CVD-HG, $F(1, 31) = 13.58$, $p = .001$ (différence = 59 ms), alors qu'il ne l'est pas dans le CVG-HD, $F < 1$ (différence = 12 ms). Cette configuration de données est similaire à celle de l'Expérience 1b, mais cette fois l'interaction est significative.

Par contre, l'interaction répétition X Niveau observée dans l'analyse générale des Expériences 2a et 2b n'est pas plus vérifiée ici dans la seule expérience sur les dessins (2b), qu'elle ne l'était dans l'expérience sur les lettres (2a), $F(1, 31) = 3.78$, $p = .061$.

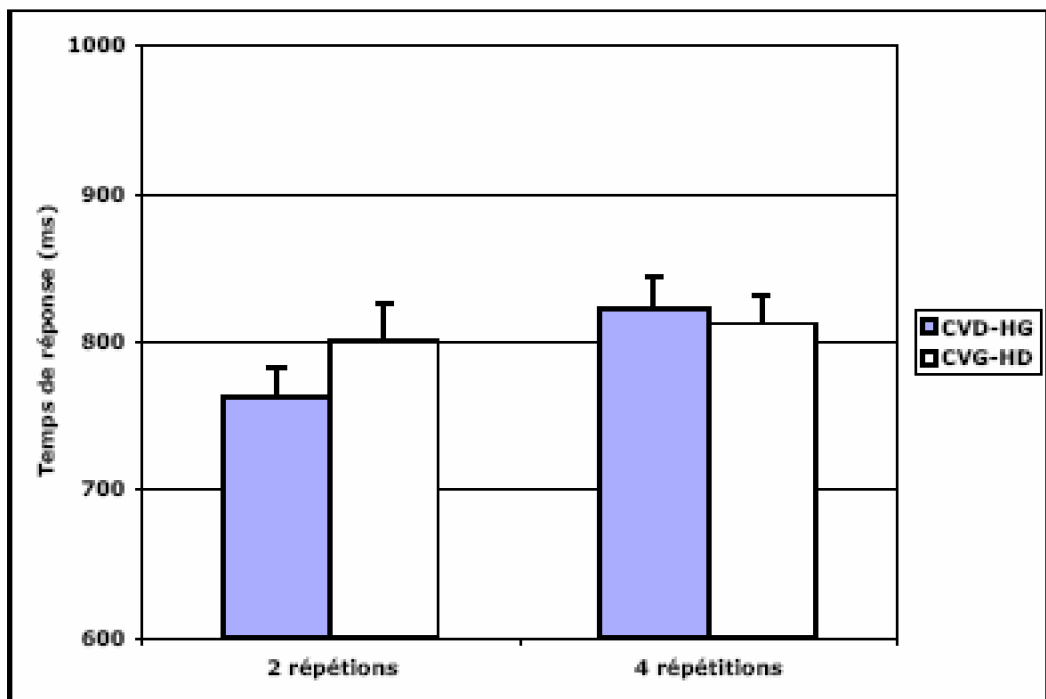


Figure 22. Temps de réponses et erreurs standard dans l'Expérience 2b selon le champ visuel de présentation et le nombre de répétitions.

L'analyse des pourcentages d'erreurs pour l'Expérience 2b (dessins d'objets) ne révèle aucun effet des facteurs niveau, champ et répétition. Par contre, l'interaction Champ X Niveau, illustré en Figure 23 est significative, $F(1, 31) = 4.33$, $p = .045$. L'analyse des contrastes montre que, pour le niveau local, l'exactitude des réponses est plus grande pour les stimuli présentés en CVG-HD (3.2%) plutôt qu'en CVD-HG (7.8%), $F(1, 31) = 7.78$, $p = .009$. Par contre, aucune différence n'apparaît selon le champ visuel pour le niveau global (différences = 0.6%, $F < 1$).

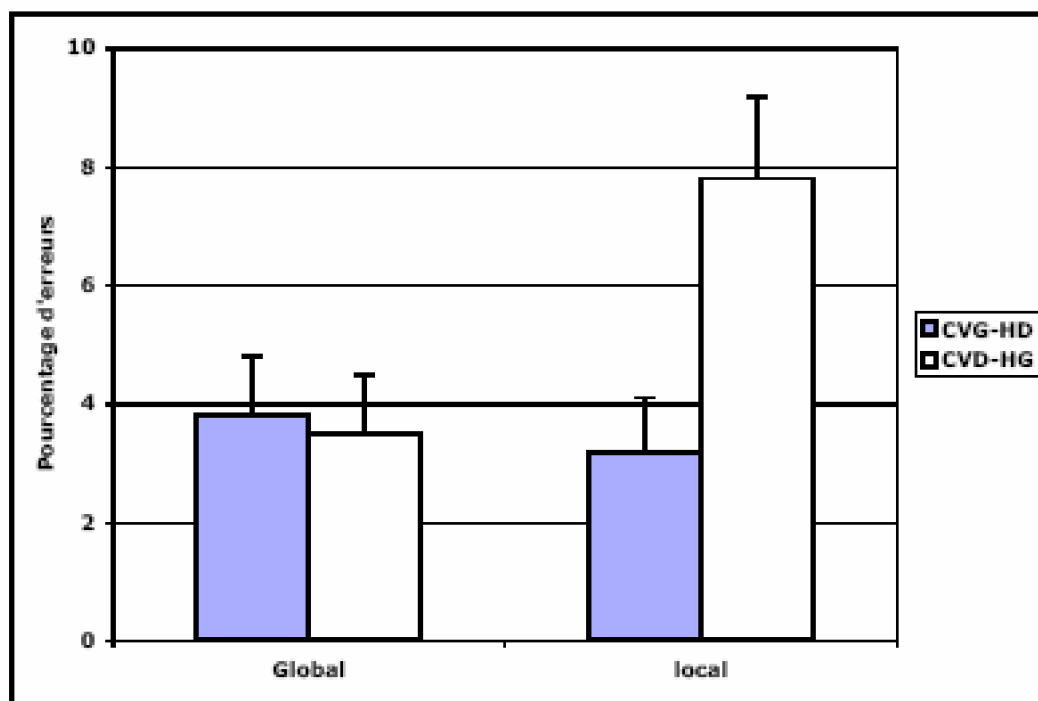


Figure 23. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard dans l'Expérience 2b selon le champ visuel de présentation et le niveau.

L'Expérience 2c a pour objectif de tester de nouveau la spécialisation hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local dans une situation où lettres hiérarchisées et dessins hiérarchisés apparaissent dans la même liste, sans qu'il soit possible de prédire la catégorie du stimulus à traiter, tout comme dans l'Expérience 1c, à la seule différence que le stimulus qui précède le stimulus expérimental est cette fois de même nature et requiert la même réponse.

3. Discussion

Nous pouvons tout d'abord observé que les réponses sont globalement plus rapides dans les Expériences 2a et 2b, avec des latences moyennes de 743 ms au lieu d'une moyenne de 839 ms dans la série précédente, les pourcentages d'erreurs étant par contre équilibrés entre les deux séries. Il semble donc que la modification introduite dans les nouvelles expériences ait véritablement réduit la difficulté des épreuves, puisque tout en préservant la qualité de leur exactitude, les jeunes adultes testés ont répondu nettement plus vite.

Cette plus grande rapidité des réponses n'a pas altéré certaines caractéristiques importantes des résultats. En particulier, comme dans les Expériences 1a et 1b, la difficulté de discrimination des cibles reste équilibrée entre les niveaux, puisqu'aucune différence significative n'apparaît entre les réponses pour les cibles globales et les cibles locales. De même, l'avantage général pour les lettres par rapport aux dessins d'objets reste présent et significatif. La familiarité des lettres semble ici encore faciliter la

discrimination des cibles.

Nous souhaitons surtout découvrir si, avec cette procédure légèrement différente, notre hypothèse à propos de l'influence des catégories sur les dominances hémisphériques classiquement associées au traitement des niveaux global et local trouve ici davantage d'indices en sa faveur. C'est en partie le cas.

Certes, l'analyse des temps de réponse sur l'ensemble des données des Expériences 2a et 2b n'apporte pas grand chose par rapport à la série d'expériences précédentes, puisque l'interaction Champ X Niveau X Catégorie n'est toujours pas significative. Dans les analyses conduites séparément sur chaque expérience, il apparaît néanmoins que l'interaction Champ X Niveau est significative pour les lettres, ce qui se manifeste par deux phénomènes classiques : le niveau local est mieux traité par l'HG que par l'HD et nous observons que l'HD présente quant à lui une spécialisation pour le traitement global. Au contraire, l'interaction Champ X Niveau n'est pas significative dans l'expérience sur les dessins d'objets, ce qui témoigne du fait que les phénomènes de dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local se manifestent différemment pour chacune des catégories de stimuli. La configuration des résultats sur les temps de réponse est donc globalement conforme à celle observée dans la série d'expériences précédentes, mais n'apporte pas d'argument supplémentaire.

Pour ce qui est de l'analyse des pourcentages d'erreurs, nous obtenons en revanche des effets plus nets et tout à fait conformes à nos hypothèses, ainsi qu'aux phénomènes d'asymétrie hémisphérique relatés par Fink et ses collègues (1997b), alors que les données sur cette variable dépendante n'apportaient rien de particulier à cet égard dans les Expériences 1a et 1b. Cette fois, l'interaction Champ X Niveau X Catégorie est significative et reflète une véritable inversion de l'asymétrie hémisphérique pour chaque niveau selon la catégorie du matériel. Le phénomène est particulièrement net, comme nous pouvions l'attendre, au niveau local. En bref, les cibles locales sont discriminées significativement plus vite et tendent à l'être de manière plus exacte en CVD-HG pour les lettres, alors que pour ce même niveau local les cibles sont discriminées de manière significativement plus exacte en CVG-HD pour les dessins d'objets. Nous avons donc recueilli dans les Expériences 2a et 2b des indices plus nets de la modulation de la dominance hémisphérique par la catégorie pour le traitement local, ce qui est favorable à notre **Hypothèse 1b**.

Pour ce qui est des effets de contexte avant un changement de niveau, cette nouvelle série d'expériences confirme que l'augmentation du nombre de répétitions d'un même mode de traitement avant un *switch* ralentit le traitement de l'item qui nécessite ce changement, conformément à l'**Hypothèse 2a**.

Dans les expériences de la série précédente, nous avons observé un résultat inattendu au sujet de cet effet de répétition : une interaction Répétition X Niveau apparaissait dans l'épreuve sur les dessins d'objets, parce que l'augmentation des répétitions préalables ne réduisait l'exactitude de la réponse pour un stimulus nécessitant un *switch* que si le passage se faisait du niveau local au niveau global. Cet effet, difficile à interpréter, suggérait que l'inhibition des mécanismes d'analyse locale étaient peut-être plus difficiles à réaliser que l'inhibition des mécanismes d'analyse globale. A notre

connaissance, il est difficile de relier un tel effet à d'autres données de la littérature. Il se trouve que cet effet n'est pas répliqué dans la nouvelle série d'expériences, l'augmentation des répétitions ayant un impact significatif pour un changement de niveau dans un sens comme dans l'autre sens, d'après l'analyse globale, l'effet étant même cette fois globalement plus marqué pour le passage en sens inverse (du niveau global au niveau local), ce qui d'ailleurs ne se vérifie pas dans les analyses portant sélectivement sur l'Expérience 2a ou l'Expérience 2b. En bref, l'interaction entre le nombre de répétitions et le sens du changement n'étant pas un phénomène robuste, il ne sera pas davantage discuté.

Par contre, l'interaction Répétition X Champ est quant à elle confirmée dans les nouvelles expériences, et ceci toujours sur la même variable dépendante : elle s'exprime sous la forme d'une forte tendance dans l'analyse portant sur les deux expériences, mais est tout à fait significative dans l'expérience sur les lettres. Dans la série d'expériences précédentes, cette interaction était au contraire essentiellement due à l'épreuve sur les dessins d'objets : le fait que cette interaction s'exprime parfois davantage sur une catégorie que sur une autre est difficilement explicable, et n'évoque pas un principe très stable. Par prudence, nous nous appuierons sur l'analyse globale, portant sur les lettres et les dessins d'objets, pour discuter cet effet. L'examen attentif des données montre que l'augmentation du nombre de répétitions gêne significativement le traitement de l'item qui nécessite un changement de niveau seulement si l'information s'adresse plus directement à l'HG. De plus, dans la condition rendue la plus difficile par le contexte préalable (4 répétitions), l'HD présente une dominance elle aussi significative. En bref, la dominance hémisphérique droite associée à la capacité à gérer un changement de niveau rendu difficile par un fort engagement préalable dans un autre mode d'analyse est répliquée dans la nouvelle série d'expériences. Cela renforce notre **Hypothèse 2** concernant l'existence de plusieurs composantes dans le processus général de changement de niveau. Alors que certaines recherches établissent un lien entre ce processus et des structures cérébrales de l'HG, nous montrons que l'HD a une compétence particulière pour gérer des changements de niveaux dans un contexte impliquant de désélectionner un mode de traitement dans lequel on était fortement engagé. Ces données sont donc compatibles avec l'idée d'une opération particulière de désélection, au sein du processus général de changement de niveau : elle utiliserait un mécanisme d'inhibition du mode de traitement devenu non pertinent, qui recruterait des structures de l'HD, pour permettre ensuite le passage vers un mode d'analyse plus approprié.

Expérience 2c

Comme les Expériences 2a et 2b, l'Expérience 2c teste à nouveau les hypothèses proposées pour la première série d'expériences, avec la suppression d'un biais que nous pensions susceptible de masquer les effets de dominance hémisphérique déterminés par les niveaux d'analyse et la catégorie des stimuli.

1. Méthode

1.1. Participants

Trente-deux étudiants (moyenne d'âge = 23.2 ans et écart-type = 3.1) dont 23 filles et 9 garçons de l'Université Lyon 2, différents de ceux des expériences précédentes, ont participé à cette épreuve. Ils sont tous droitiers (plus de 80% de bonnes réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh) et ont une vue normale ou corrigée. Les participants ont rempli un formulaire de consentement.

1.2. Stimuli matériel et procédure

Les stimuli, le matériel et la procédure sont identiques à ceux de l'Expérience 1c. Toutefois, contrairement à cette expérience préalable, le stimulus expérimental et celui qui le précède contiennent la même cible, ce qui impose d'utiliser la même touche de réponse, et permet d'avoir une succession de deux stimuli de même nature. Par ailleurs comme dans les autres expériences antérieures, le stimulus expérimental et celui qui le précède sont présentés dans le même champ visuel et contiennent tous deux la cible mais à des niveaux différents.

2. Résultats

Nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées sur les TR pour les décisions exactes et sur les pourcentages d'erreurs, avec les quatre facteurs intra-individuels catégorie (lettre, dessin), niveau (global, local), champ (gauche, droit) et répétition (2 répétitions, 4 répétitions). Tout comme dans les expériences précédentes, les temps déviants (supérieurs à la moyenne plus deux écarts-types ou inférieurs à la moyenne moins deux écarts-types de la condition concernée) n'ont pas été pris en compte.

L'analyse des TR ne révèle aucun effet principal du niveau $F < 1$, nidu champ, $F(1, 31) = 3.100$, $p > .088$, contrairement à l'Expérience 1c. Nous confirmons en revanche l'effet du facteur catégorie, $F(1, 31) = 37.36$, $p = .0001$, avec des lettres hiérarchisées traitées plus rapidement (687 ms) que les dessins hiérarchisés (783 ms). De même, l'effet principal du facteur répétition est significatif, $F(1, 31) = 6.882$, $p = .013$, avec des TR plus longs en condition 4 répétitions (742 ms) qu'en condition 2 répétitions (727 ms). L'interaction Catégorie X Niveau est significative, $F(1, 31) = 6.99$, $p = .013$. Comme l'illustre Figure 24, l'effet du niveau est différent selon la catégorie du stimulus. Cette interaction s'explique surtout par le fait que, pour les dessins hiérarchisés, le niveau global est traité plus rapidement (768 ms) que le niveau local (797 ms), $F(1, 31) = 4.507$, $p = .042$, alors que ce n'est pas vrai pour les lettres hiérarchisées dont le niveau local tend à être traité plus rapidement (675 ms) que le niveau global (698 ms), $F(1, 31) = 2.62$, $p = .12$.

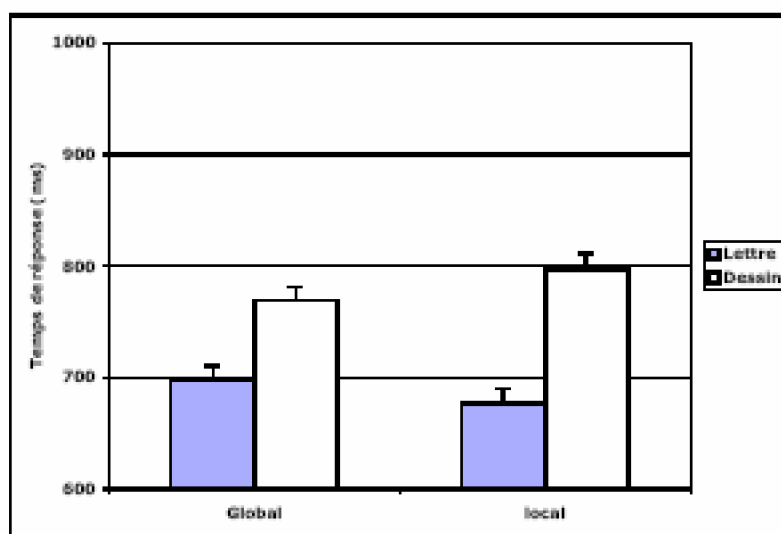


Figure 24. Temps de réponses et erreurs standard dans l'Expérience 2c selon la catégorie et le niveau.

L'interaction Catégorie X Champ est également significative, $F(1, 31) = 5.704$, $p = .023$. L'analyse des contrastes révèle, pour le traitement des lettres un avantage du CVD-HG (671 ms) sur le CVG-HD (702 ms), $F(1, 31) = 9.032$, $p = .005$, alors qu'aucune différence n'apparaît pour les dessins ($F < 1$). Nous relevons enfin une interaction Niveau X Champ, $F(1, 31) = 20.014$, $p = .0001$. La Figure 25 montre que, dans le CVD-HG, les cibles au niveau local (719 ms) sont traitées plus vite qu'au niveau global (736 ms), $F(1, 31) = 6.893$, $p = .0133$. En revanche, dans le CVG-HD, les cibles sont traitées plus vite au niveau global (730 ms) qu'au niveau local (753 ms), $F(1, 31) = 13.70$, $p = .0008$. Par ailleurs cette interaction reflète un avantage de l'HG pour les cibles au niveau local, $F(1, 31) = 28.454$, $p = .0001$. De plus, comme l'illustre la Figure 26, ces effets du champ selon le niveau sont similaires pour les deux catégories.

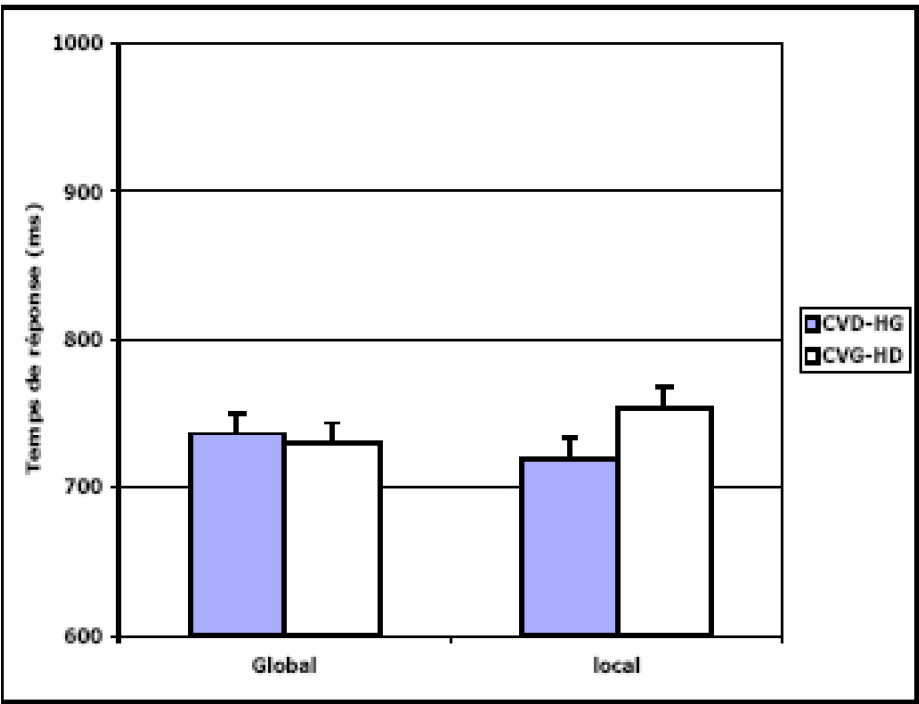


Figure 25. Temps de réponses et erreurs standard pour l'Expérience 2c selon le champ de présentation et le niveau.

Particulièrement dans l'Expérience 1c, l'interaction Champ X Niveau X Catégorie est très éloignée de la significativité, $F(1, 31) = 0.02$, $p = .8832$.

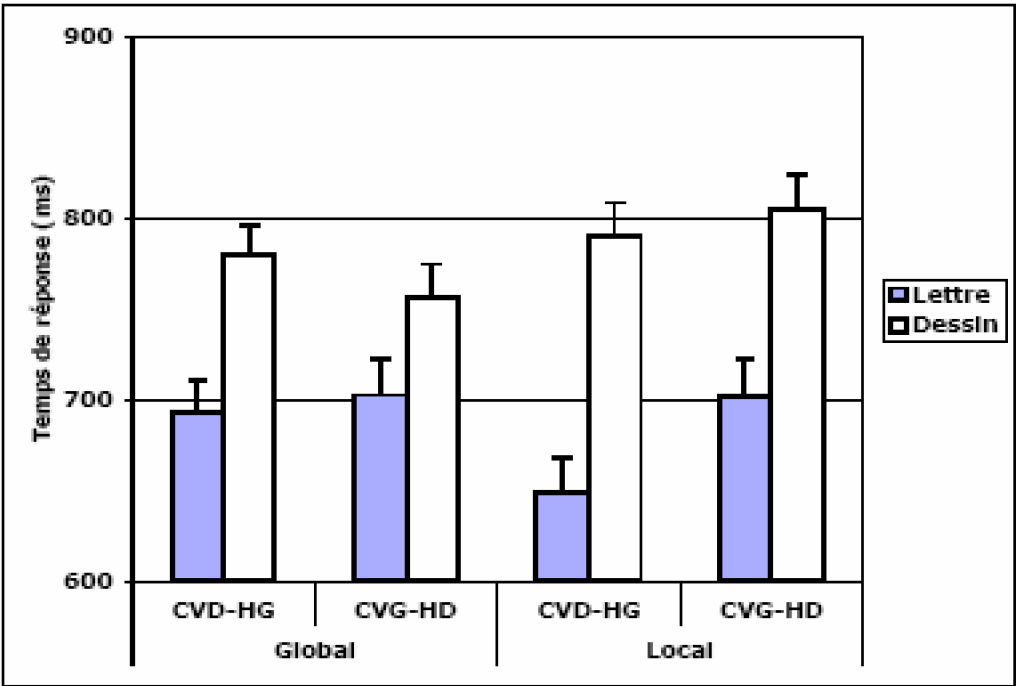


Figure 26. Temps de réponses et erreurs standard pour l'Expérience 2c selon la catégorie,

le champ visuel de présentation et le niveau.

L'analyse des pourcentages d'erreurs ne montre aucun effet significatif des facteurs champ, niveau et répétition. Seul l'effet principal de la catégorie est significatif, $F(1, 31) = 7.540$, $p = .01$, avec moins d'erreurs pour les lettres hiérarchisées (2.2%) que pour les dessins hiérarchisés (5.3%). Aucune interaction n'est significative.

3. Discussion

En premier lieu, dans cette expérience comme dans toutes les autres, un avantage significatif pour le traitement des lettres par rapport à celui des dessins d'objets est observé chez les jeunes adultes, tant sur l'exactitude des réponses que sur leur rapidité. La familiarité du matériel alphabétique est sans doute responsable de cet avantage, très constant à travers nos expériences. L'Expérience 2c apporte sur ce point un élément supplémentaire : les facteurs catégorie et champ interagissent, essentiellement parce qu'il existe un avantage de l'HG seulement pour les lettres : il semble donc bien que ces dernières aient été traitées en tant qu'éléments d'une catégorie linguistique, pour laquelle l'HG présente une dominance.

Dans l'Expérience 2c, l'effet de la catégorie interagit aussi avec celui du niveau : pour les dessins, il existe un avantage du niveau global, alors que les lettres tendent à être traitées plus rapidement au niveau local qu'au niveau global. Cette interaction, présente dans cette seule expérience, ne correspond pas à un effet extrêmement robuste, mais s'il devait se vérifier dans le cas d'enfants et apparaître de manière progressive pendant les années d'apprentissage de la lecture, il serait possible de l'interpréter non seulement comme un effet de familiarité croissante du matériel alphabétique, mais aussi comme le développement d'une compétence particulière à traiter les lettres au niveau local dans des stimuli visuels complexes. La mise en place d'un bon niveau d'expertise en lecture de mot écrit, dont les détails sont justement des lettres, pourrait s'accompagner de l'établissement d'une compétence pour un mécanisme aussi précis.

De même, bien que les Expériences 1c et 2c ne soient pas destinées à tester cette question, il apparaît que l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau ralentit significativement le traitement de la cible. Etant donné que, dans l'Expérience 2c contrairement à l'Expérience 1c, le changement de niveau est étudié en l'absence d'un biais possible dû à un changement concomitant sur le plan de la sélection de la réponse, ce résultat peut plus directement être interprété comme un effet relatif au processus de changement de niveau.

Plus directement en lien avec notre hypothèse, les effets d'asymétrie hémisphérique relevés dans l'Expérience 2c apparaissent comme plus directement liées au niveau sur lequel se situe la cible, plutôt qu'à la catégorie de son contenu, conformément à notre prédiction. Les résultats de l'Expérience 1c allaient déjà dans ce sens, mais de manière moins directe. En effet, alors que l'interaction Champ X Niveau X Catégorie était significative pour les expériences présentant les lettres et les dessins dans des blocs séparés (Expériences 1a et 1b), cette interaction n'était plus significative dans l'Expérience 1c. Cependant, dans l'Expérience 1c, nous n'avons pas relevé d'interaction

Niveau X Champ, qui est un indice plus direct de l'importance accordée au critère *niveau*, plutôt que *catégorie*, pour guider l'engagement des hémisphères. Or, dans l'Expérience 2c qui présente un mélange de lettres et de dessins d'objets hiérarchisés, cette interaction Niveau X Champ est significative, alors que l'interaction Catégorie X Niveau X Champ ne l'est pas. Cela montre plus clairement que les indices d'asymétries hémisphériques observés dans cette expérience sont relatifs aux niveaux d'analyse et que cela n'est pas influencé par la catégorie du stimulus.

Par ailleurs, il apparaît que le fait d'avoir pris la précaution de ne pas introduire de difficulté supplémentaire pour le traitement des items expérimentaux, en faisant en sorte que la réponse soit la même que pour l'item précédent, s'accompagne de la disparition de deux effets inattendus dans l'Expérience 1c et qui étaient susceptibles d'obscurcir la visibilité de phénomènes d'asymétrie hémisphérique liés aux deux dimensions qui nous intéressent : le niveau d'analyse (global ou local) et la catégorie du contenu du stimulus hiérarchisé (lettre ou dessin d'objet). Conformément à nos attentes, malgré la disparition de ces deux effets, la dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local reste déterminée seulement par la compétence de mécanismes latéralisés selon le niveau (et non selon la catégorie) qu'ils traitent le mieux, ce qui réduit l'impact des interprétations alternatives à notre Hypothèse 1b.

Le premier effet était un avantage général du niveau local dans l'Expérience 1c, assez surprenant puisqu'il était absent pour le même type de matériel dans les Expériences 1a et 1b. Cet effet disparaît dans l'Expérience 2c. Cela souligne le fait que les phénomènes d'avantage pour un niveau d'analyse sont très vulnérables non seulement aux caractéristiques physiques des stimuli (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999 ; Blanca & Luna, 2002 ; Grice, Canham, & Boroughs, 1983 ; Kinchla & Wolfe, 1979 ; LaGasse, 1993 ; Lamb & Robertson, 1989 ; Luna, Marcos-Ruiz, & Merino, 1995 ; Martin, 1979), mais aussi aux demandes attentionnelles de la tâche (Han, Humphreys, & Chen, 1999 ; Han, Yund, & Woods, 2003 ; Paquet, & al., 1987 ; Paquet & Merickle, 1988 ; Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999 ; Rinehart, Bradshaw, Moss, Brereton, & Tonge, 2000). Au final, dans l'Expérience 2c comme dans les autres expériences, nous retrouvons une situation dans laquelle l'équilibre de la difficulté d'extraction de l'information à l'un et l'autre niveaux est observé. Contrairement aux résultats de l'Expérience 1c, il est donc ici possible de dire que l'absence de modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour les niveaux n'est pas due au seul fait que la difficulté posée par le niveau local n'ait pas été suffisante pour inciter la mise en place d'un processus attentionnel, destiné à compenser la vulnérabilité de l'information locale. Cela élimine donc une des interprétations concurrentes à celle évoquée par notre **Hypothèse 1b**.

Le deuxième effet dont la présence dans l'Expérience 1c n'était pas attendue et qui disparaît dans l'Expérience 2c est un avantage général pour les stimuli plus directement adressés à l'HG. Cet avantage hémisphérique gauche pourrait être lié à la complexité de la tâche, en particulier à cause des fortes demandes attentionnelles pour des mécanismes tardifs de sélection de réponse et de programmation motrice dans l'Expérience 1c, ainsi qu'au fait que ces derniers mécanismes impliquent fortement des structures de l'HG (Mars, Piekema, Coles, Hulstijn, & Toni, sous presse ; Rushworth,

Krams, & Passingham, 2001 ; Schuster, Krams, Rushworth, & Passingham, 2001 ; Spironelli, Tagliabue, & Angrilli, 2006). La disparition de l'avantage général de l'HG dans l'Expérience 2c s'explique peut-être par la seule diminution de ces difficultés et par la réduction de l'implication de tels mécanismes attentionnels latéralisés, comme d'autres auteurs l'ont montré pour d'autres mécanismes (Mevorach, Humphreys, Shalev, 2006). La plus grande facilité de l'épreuve 2c est en tout cas attestée par le fait qu'elle suscite des temps de réponse plus courts (776 ms en moyenne, dans l'Expérience 1c, mais seulement 735 ms dans l'Expérience 2c), ainsi que des erreurs plus rares (5.35% en moyenne dans l'Expérience 1c, mais seulement 3.78% dans l'Expérience 2c). L'important pour nous ici est de constater qu'il y a dans cette expérience un avantage de l'HG au niveau local quelle que soit la catégorie, sans que cela s'explique par le seul fait d'un avantage général de l'HG dans l'ensemble de l'épreuve, et cela permet d'écarter la deuxième interprétation concurrente de notre **Hypothèse 1b**.

Expérience 3

L'Expérience 3 propose de tester une nouvelle fois l'**Hypothèse 1** sur la modulation de la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local par la catégorie du matériel présenté. Comme dans les Expériences 1a, 1b, 2a et 2b, les lettres hiérarchisées et les dessins d'objets hiérarchisés sont présentés dans des blocs séparés, mais cette fois chaque participant réalise l'épreuve sur le bloc des lettres et sur le bloc des dessins d'objets : l'impact du facteur catégorie est alors mesuré de manière intra-individuelle. Cette expérience vise aussi à répliquer l'effet négatif de l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau (**Hypothèse 2a**), ainsi que la dominance de l'HD pour l'opération permettant de désélectionner le mode de traitement préalable en l'inhibant parce qu'il est devenu inapproprié (**Hypothèse 2b**).

Par ailleurs, dans cette expérience, nous essayons de distinguer plus précisément la spécificité d'une opération de désélection du mode d'analyse précédent, au sein du processus plus général de changement de niveau. Pour cela, nous avons introduit une troisième condition dans laquelle le stimulus expérimental est précédé d'un item contenant la cible au même niveau, dans le même champ visuel et demandant la même réponse (condition MNR : *même niveau et même réponse*) : dans ce cas, il n'y a pas de *switch* entre niveaux et nous disposons ainsi d'une condition par rapport à laquelle nous pourrions comparer la condition avec changement de niveau après un faible nombre de répétitions (condition 2 répétitions), ce qui est la façon classique d'évaluer l'effet dû au *switch*. Ce changement de niveau correspond, selon nous à un processus impliquant plusieurs opérations ; il pourrait bien dans l'ensemble pourrait bien, d'après les données de la littérature, impliquer fortement l'HG. La comparaison des conditions avec changement de niveau après 2 et après 4 répétitions pourra quant à elle évaluer la mesure dans laquelle ces répétitions préalables augmentent le coût dû au *switch*, ce qui correspondrait au surcoût dû à l'augmentation de la difficulté imposée sélectivement à l'opération de désélection. Comme dans les expériences précédentes, nous attendons

pour la gestion de cette difficulté un avantage de l'HD (**Hypothèse 2b**).

Enfin, sans que cela soit relié à un questionnement central dans notre thèse, nous avons introduit dans l'Expérience 3 une quatrième condition dans laquelle le traitement de l'item cible ne nécessite pas de changement de niveau (ni de champ visuel), mais impose un changement de réponse (condition MN : *même niveau*). La prise en compte de l'importance des mécanismes de sélection et de programmation motrice de la réponse avait motivé la réalisation des Expériences 2a, 2b et 2c. Nous avons constaté que le fait de ne pas avoir à changer la sélection de la réponse ni la programmation motrice accélérerait la vitesse de réponse générale dans cette série d'épreuves. Nous avons également constaté que cela s'accompagnait de la disparition d'un avantage général de l'HG. C'est pourquoi, dans cette Expérience 3, nous prédisons non seulement de moins bonnes performances dans la condition MN que dans la condition MNR, mais nous attendons aussi une certaine dominance de l'HG pour la condition MN.

1. Méthode

1.1. Participants

Trente-deux étudiants en Psychologie de l'Université Lyon 2 ont participé à l'expérience. Il s'agit de 22 filles et de 10 garçons dont la moyenne d'âge est de 22.8 ans (écart-type = 3.3). Tous avaient une vue normale ou corrigée et étaient droitiers avec plus de 80% de désignation de la main droite dans le test d'Edinburgh (Oldfield, 1971). Ils ont rempli un formulaire de consentement avant de réaliser l'épreuve.

1.2. Stimuli

L'expérience comporte deux blocs, l'un contient des lettres hiérarchisées, l'autre des dessins d'objets hiérarchisés. Les lettres hiérarchisées sont les mêmes que celles des Expériences 1a et 2a et les dessins d'objets hiérarchisés sont ceux des Expériences 1b et 2b ; leur taille est également la même. Chaque bloc contient 216 items dont 96 stimuli expérimentaux répartis en 4 conditions de contexte :

- MNR: la cible est au Même Niveau que dans l'item précédent et demande la même Réponse

- MN : la cible est au Même Niveau que dans l'item précédent mais la réponse est différente

- 2 répétitions : les items n-1 et n-2 contiennent la cible à autre niveau que l'item n, et les items n-1 et n requièrent la même réponse.

- 4 répétitions : les items n-4, n-3, n-2 et n-1 contiennent la cible à un autre niveau que l'item n, et les items n-1 et n requièrent la même réponse.

Dans chacune des 4 conditions, 50% des items contiennent la cible au niveau local et 50% au niveau global, avec à chaque fois une même proportion de stimuli présentés en CVG-HD et CVD-HG. Pour chaque condition, la moitié des items contiennent la cible E, les autres la cible M (pour le bloc Lettres), la moitié contiennent la cible *étoile*, les autres

la cible *lune* (pour le bloc Dessins). Les 120 items distracteurs permettent de constituer le contexte approprié aux conditions expérimentales, en terme de succession de niveaux d'apparition de la cible ; ils permettent aussi de faire en sorte que l'item précédant chaque stimulus expérimental soit présenté dans le même champ visuel (afin d'éviter de confondre les effets de changement de niveau et de changement de champ visuel) et aussi d'éviter qu'il y ait seulement des successions de 2 ou 4 items à un même niveau avant un changement de niveau au fil de la liste, afin que le sujet ne puisse développer de stratégies particulières. De plus, jamais deux stimuli hiérarchisés identiques ne se succèdent. Comme dans les autres expériences, les proportions d'items expérimentaux pour lesquels il existe une compatibilité entre le côté d'apparition du stimulus et la main sont les mêmes dans les diverses conditions. Enfin, pour éviter que l'attente soit biaisée quant à la cible, des suites de stimuli contenant la même cible peuvent représenter de 1 à 4 items. Comme pour les stimuli expérimentaux, les 120 distracteurs étaient répartis équitablement en fonction du champ, du niveau et de la cible.

1.2. Matériel et procédure

Le matériel et les conditions de passation sont les mêmes que dans les expériences précédentes. La consigne pour le bloc des lettres est celle des Expériences 1a et 2a, celle du bloc des dessins d'objets est la même que dans les Expériences 1b et 2b. Le rappel de la consigne avant chaque bloc s'accompagne d'un exercice sur papier présentant chaque item possible et requérant une décision exprimée verbalement, pour vérifier la bonne compréhension de la tâche. Pendant l'enchaînement des événements, leur durée et leur position sur l'écran sont aussi les mêmes que dans les expériences précédentes. L'ordre des blocs Lettres et Dessins est contrebalancé entre les sujets. Chaque bloc commence après une série de 12 essais, dure environ 20 minutes et est ponctué de 4 pauses.

2. Résultats

Une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée sur les temps de réponse (TR) des décisions exactes, avec 4 facteurs intra-individuels : Catégorie (lettre, dessin), Niveau (global, local), Champ (CVG-HD, CVD-HG) et Contexte préalable (un stimulus avec cible au même niveau et même réponse = MNR ; un stimulus avec cible au même niveau mais réponse différente = MN ; 2 stimuli avec même cible à un niveau différent = 2 répétitions ; 4 stimuli avec même cible à un niveau différent = 4 répétitions). Une même analyse porte sur les taux d'erreurs. Nous avons exclu les temps supérieurs ou inférieurs à la moyenne de la condition plus ou moins deux écarts-types.

L'analyse des TR fait ressortir l'effet principal de la catégorie, avec des réponses plus rapides pour les lettres (692 ms) que pour les dessins (780 ms), $F(1, 31) = 20.96$, $p = .0001$, celui du niveau, avec des réponses plus rapides si la cible est au niveau global (720 ms) plutôt qu'au niveau local (752 ms), $F(1, 31) = 13.16$, $p = .001$ et celui du champ, les réponses étant plus rapides pour les stimuli présentés en CVD-HG (730 ms) qu'en CVG-HD (742 ms), $F(1, 31) = 8.29$, $p = .007$. Le contexte influence aussi les TR, $F(3, 93) = 33.57$, $p = .0001$: comme l'illustre la Figure 27, les latences sont peu augmentées par le

seul changement de réponse, la différence entre les conditions MNR et MN étant faible (5 ms), $F < 1$. En revanche, l'effet du changement de niveau est significatif, avec des réponses plus rapides en condition MNR qu'en condition 2 répétitions (différence = 37 ms), $F(1, 93) = 19.40$, $p = .001$ et le nombre de répétitions avant le changement joue aussi un rôle, avec des réponses retardées lorsque le changement de niveau succède à 4 répétitions à un autre niveau, plutôt qu'à 2 répétitions (différence = 39 ms), $F(1, 93) = 20.63$, $p = .0001$.

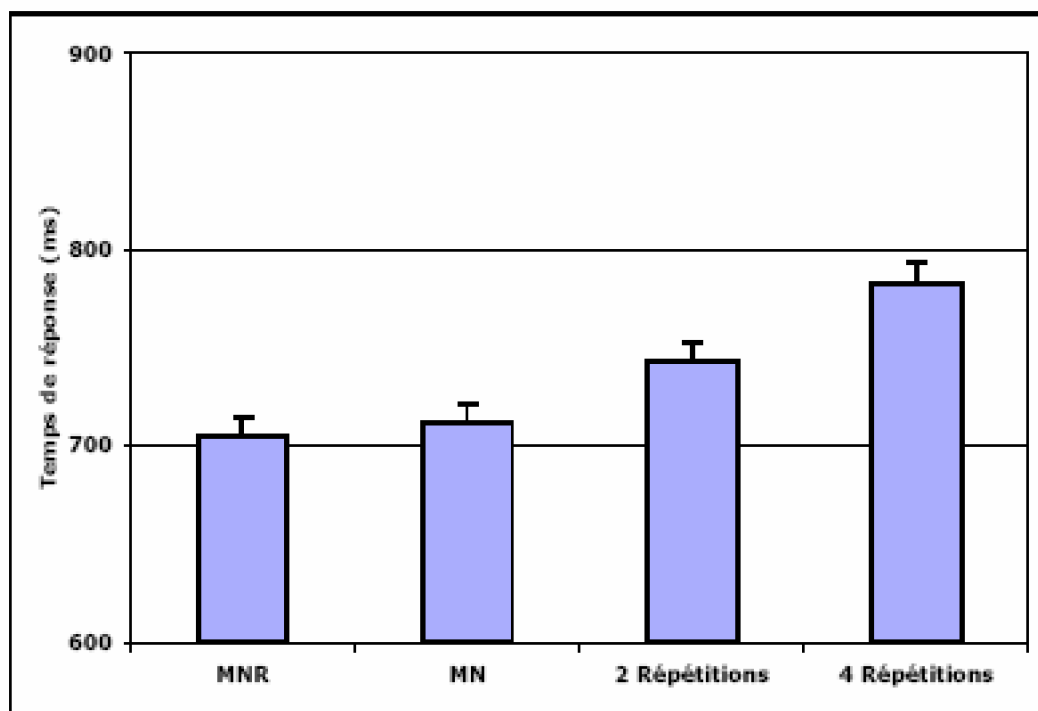


Figure 27. Temps de réponses et erreurs standard selon le contexte dans l'Expérience 3.

Conformément à notre hypothèse, l'interaction Contexte X Champ, $F(3, 93) = 2.91$, $p = .05$, reflète deux phénomènes illustrés en Figure 28 : d'une part, l'avantage de l'HG, tout juste significatif en condition MNR $F(1, 93) = 4.23$, $p = .043$, est net en condition 2 répétitions avant un changement (avantage = 29 ms), $F(1, 93) = 7.60$, $p = .007$, et disparaît en condition 4 répétitions, $F(1, 93) = 1.34$, $p = .2498$; d'autre part, l'augmentation du nombre de répétitions avant le changement de niveau retarde significativement les réponses pour les stimuli présentés en CVD-HG (différence = 59 ms), $F(1, 93) = 32.69$, $p = .001$, mais pas en CVG-HD (différence = 18 ms), $F(1, 93) = 3.25$, $p = .075$. En revanche, l'effet du changement de niveau (comparaison entre les conditions MNR et 2 répétitions) est significatif en CVD-HG, $F(1, 93) = 10.86$, $p = .01$, comme en CVG-HD, $F(1, 93) = 15.96$, $p = .001$.

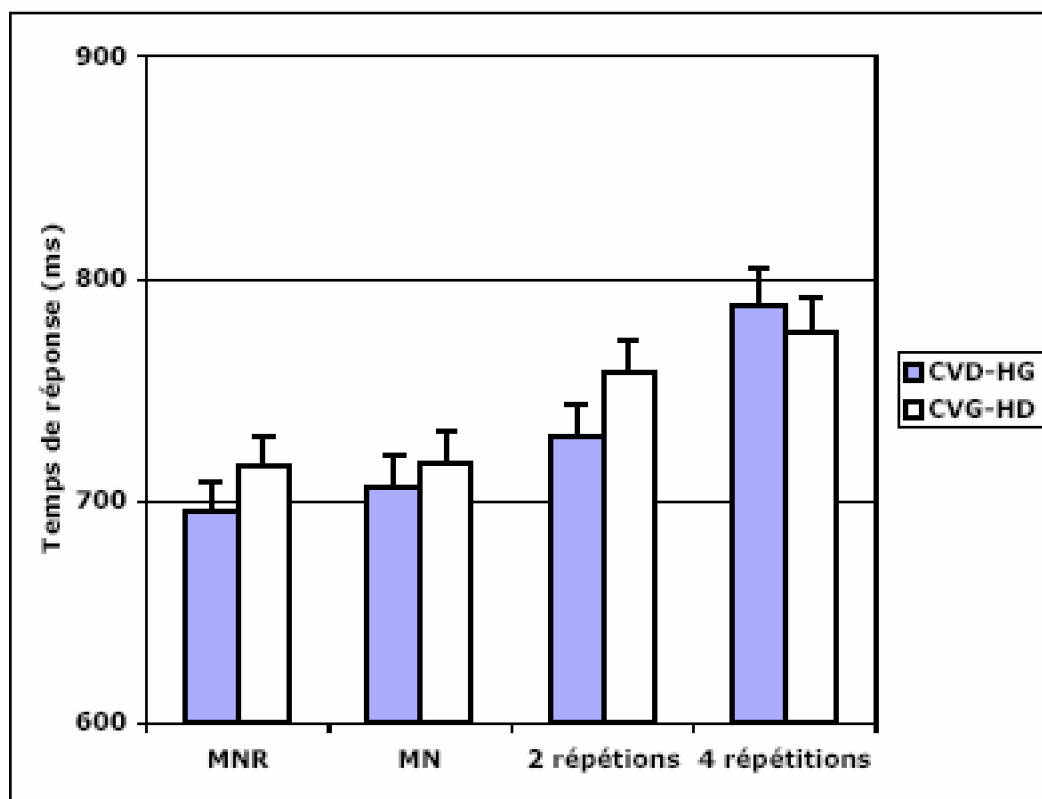


Figure 28. Temps de réponses et erreurs standard selon le champ visuel de présentation et le nombre de répétitions dans l'Expérience 3.

L'interaction Contexte X Catégorie est également significative, $F(3, 93) = 11.53$, $p = .001$ et illustrée en Figure 29. Alors que l'effet du changement de niveau (différence entre condition MNR et condition 2 répétitions) est très marqué pour les dessins (différence = 68 ms), $F(1, 93) = 63.82$, $p = .001$, il n'atteint pas le seuil de significativité pour les lettres (différence = 6 ms), $F < 1$. Par contre, l'effet du nombre de répétitions de niveau avant ce changement de niveau est significatif aussi bien pour les dessins que pour les lettres, respectivement $F(1, 93) = 24.64$, $p = .001$ et $F(1, 93) = 16.73$, $p = .001$.

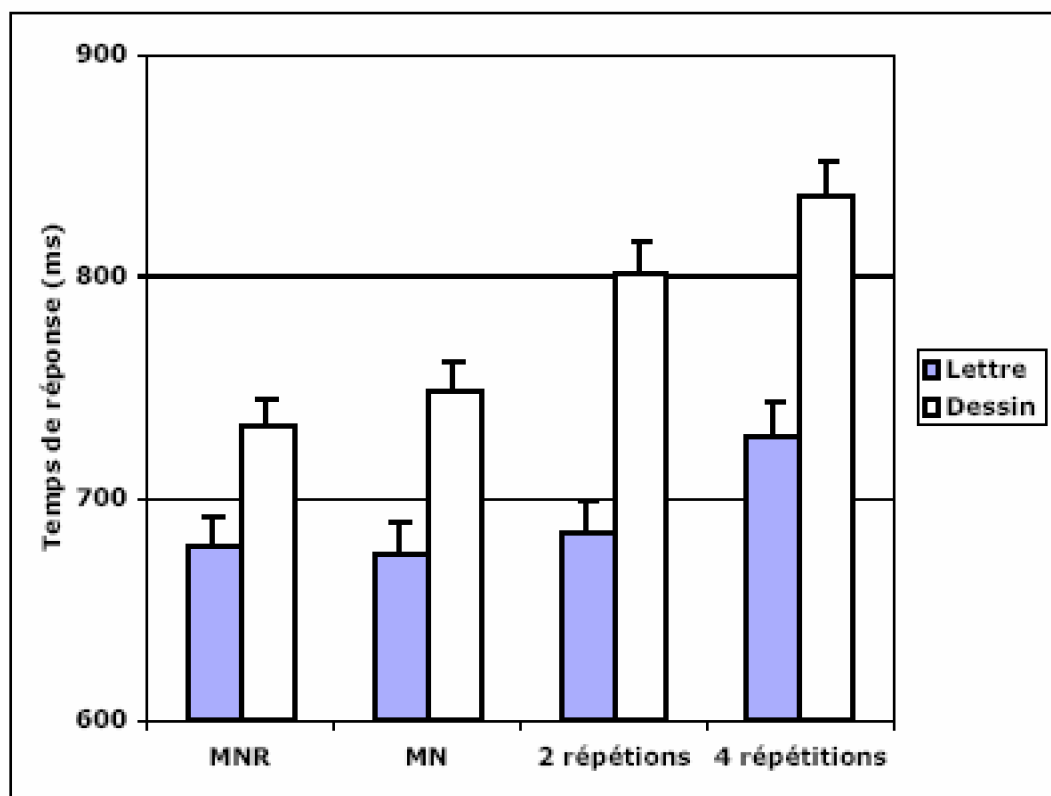


Figure 29. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le contexte dans l'Expérience 3.

Par ailleurs, l'interaction Niveau X Champ n'est pas significative, $F(1, 31) = 1.61$, $p = .2147$, mais l'interaction Niveau X Champ X Catégorie, attendue dans nos hypothèses, l'est, $F(1, 31) = 4.43$, $p = .0435$. Comme l'illustre Figure 30, elle reflète une différence de dominance hémisphérique pour le traitement local selon la catégorie : l'avantage de en CVD-HG pour le niveau local n'est observé que pour les lettres (différence = 34 ms), $F(1, 31) = 11.86$, $p = .01$, et pas pour les dessins (différence = 2 ms), $F < 1$.

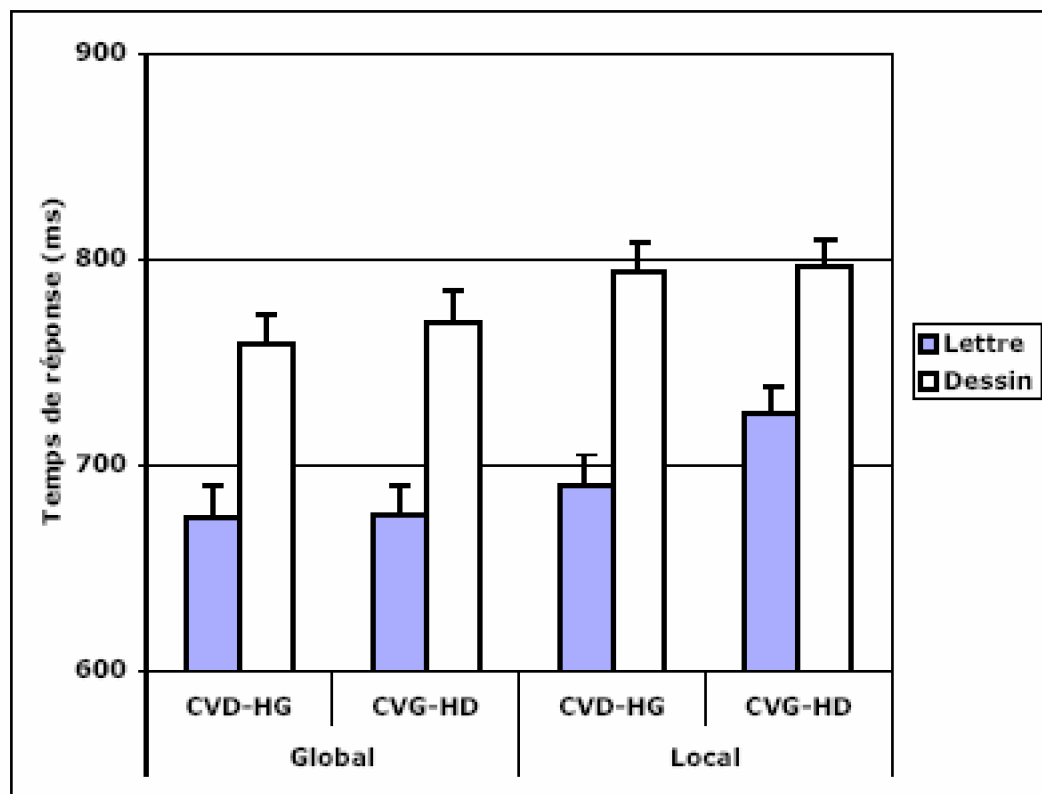


Figure 30. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie, le champ visuel de présentation et le niveau l'Expérience 3.

L'analyse des pourcentages d'erreurs montre que l'effet de la catégorie va dans le même sens que sur les TR, avec moins d'erreurs sur les lettres (3.22%) que sur les dessins (6.28%), $F(1, 31) = 23.53$, $p = .001$; il en va de même pour le facteur niveau, les erreurs étant moins nombreuses pour les cibles au niveau global (3.94%) qu'au niveau local (5.5%), $F(1, 31) = 7.72$, $p = .01$. Quant à l'effet de contexte, $F(3, 93) = 13.87$, $p = .001$, il ne repose pas sur un effet du changement de réponse ($F < 1$) mais sur l'effet négatif du changement de niveau, $F(1, 93) = 11.61$, $p = .001$, de même que sur l'effet d'accroissement du nombre de répétitions avant le changement, $F(1, 93) = 4.35$, $p = .001$ (voir Figure 31).

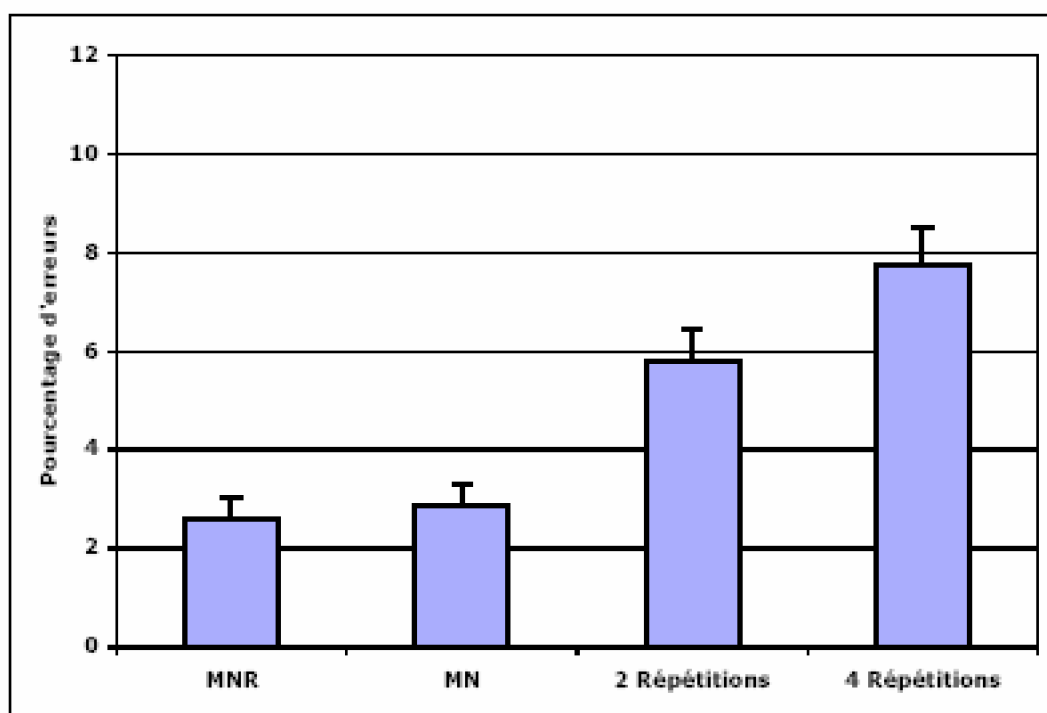


Figure 31. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le contexte dans l'Expérience 3.

L'interaction Contexte X Champ n'est pas significative, mais nous remarquons que la configuration des résultats est conforme à celle observée sur les TR (voir Figure 28 et Figure 32), en particulier parce que les erreurs augmentent avec l'accroissement des répétitions avant le changement seulement pour les stimuli présentés en CVD-HG, $F(1, 93) = 10.69$, $p = .01$, et une forte tendance à répondre plus précisément en CVG-HD qu'en CVD-HG seulement dans le contexte le plus difficile (4 répétitions), $F(1, 93) = 3.56$, $p = .06$.

Pour finir, l'interaction Niveaux X Champ X Catégorie attendue dans notre hypothèse n'est pas significative sur les taux d'erreurs, $F(1, 31) = 2.16$, $p = .15$, mais nous remarquerons que la configuration des données ne fait pas ressortir sur ce point un phénomène d'échange rapidité-exactitude. De plus, sur cette variable dépendante comme sur l'autre, l'avantage de l'HG illustré en Figure 33 pour le niveau local n'apparaît que pour les lettres, $F(1, 93) = 4.43$, $p = .044$.

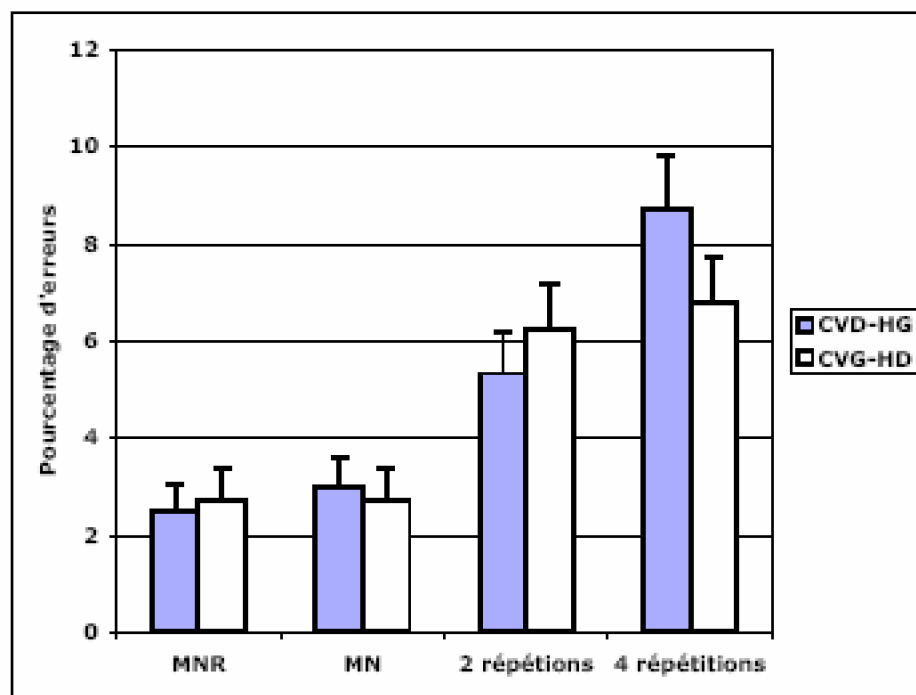


Figure 32. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ visuel de présentation et le contexte l'Expérience 3.

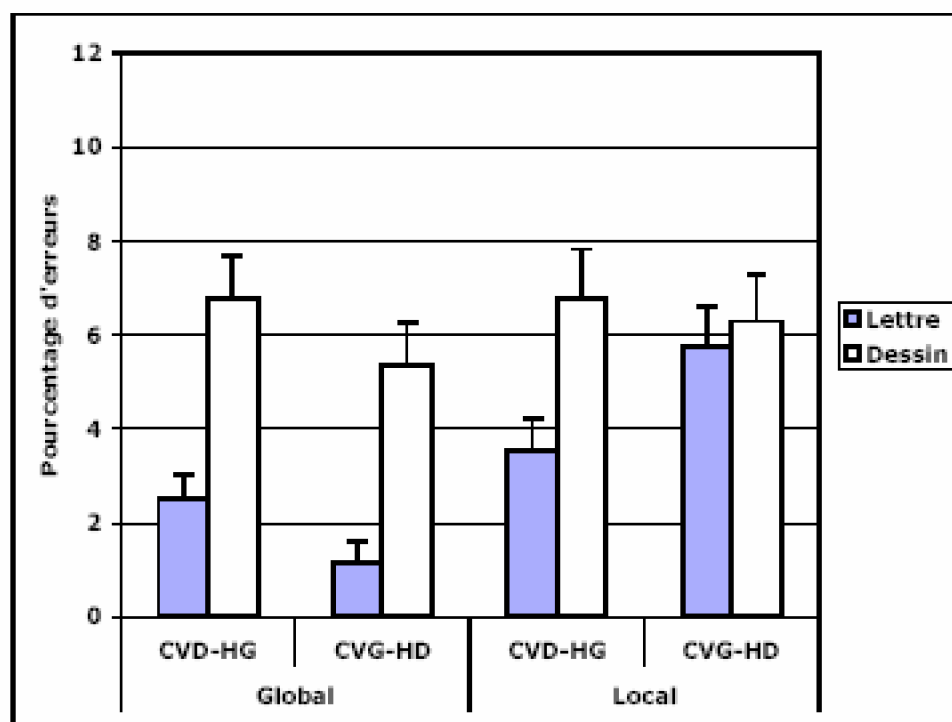


Figure 33. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon la catégorie, le champ visuel de présentation et le niveau l'Expérience 3.

3. Discussion

Comme dans les expériences précédentes, l'analyse des résultats de l'Expérience 3 fait ressortir un avantage général pour les lettres par rapport aux dessins d'objets, à la fois sur les temps de réponse et les taux d'erreurs, ce qui est cohérent avec l'effet général de la catégorie observé dans l'ensemble des expériences sur les adultes.

Les données sont également favorables l'**Hypothèse 1**, car l'interaction Niveau X Champ X Catégorie attendue est significative sur les temps de réponse. Elle reflète un effet différent du champ visuel selon la catégorie pour le traitement au niveau local. Pour ce niveau, un avantage de l'HG est observé pour les lettres, mais pas pour les dessins d'objets, résultat observé aussi sur l'exactitude des réponses. Or, c'est plus précisément pour le traitement de ce niveau que nous attendions une modulation de l'asymétrie hémisphérique par les catégories, sous l'influence d'un processus de haut niveau destiné à compenser le traitement potentiellement plus difficile de l'information locale. Il est intéressant de remarquer la robustesse de cet effet, dont nous avons aussi relevé des indices dans les expériences précédentes : il se manifeste ici dans une situation pour laquelle tous les stimuli expérimentaux n'impliquent pas forcément un changement de niveau par rapport à l'item précédent (conditions MNR et MN). Le maintien de l'effet dans ces conditions différentes, et dans une expérience où lettres et dessins sont testés de manière intra-individuelle, conforte un peu plus ce résultat. Encore une fois, il semble que la dominance hémisphérique pour les traitements global et local ne soit pas exclusivement déterminée par des caractéristiques des traitements visuels de bas niveau, ni par la seule différence de latéralisation hémisphérique de mécanismes compétents pour traiter l'un plutôt que l'autre niveau.

Les résultats de cette expérience montrent aussi l'influence du contexte des modes de traitement préalablement utilisés sur l'exactitude et les temps de traitement des stimuli hiérarchisés. L'analyse détaillée de l'effet de ce facteur nous apprend plusieurs choses.

Tout d'abord, l'effet général de ce facteur contexte ne s'explique pas par la différence entre les deux conditions faisant varier la nécessité d'un changement de réponse : lorsque seul un changement de réponse s'impose (condition MN), cela n'est pas significativement pénalisant (comparé avec la condition MNR) pour les variables dépendantes étudiées. Nous remarquons d'ailleurs que l'effet de ce changement de réponse n'est pas plus pénalisant dans un hémichamp visuel que dans l'autre, et nous ne recueillons donc pas d'indice d'une supériorité de l'HG pour la prise en charge de ce type de changement dans cette expérience.

En revanche, l'effet général du facteur contexte s'explique au moins en partie par le coût dû au changement de niveau, car nous répliquons l'effet classique du *switch*, avec des réponses plus lentes et moins précises lorsqu'une alternance est requise entre les niveaux pour les items n-1 et n (condition 2 répétitions) que lorsqu'il n'y a pas d'alternance (condition MNR), ces deux conditions étant par ailleurs comparables parce qu'elles n'impliquent pas de changement de réponse. Les données montrent que ce changement de niveau a un effet plus négatif sur les performances que le changement de réponse. Il

est difficile d'étudier les supports neuroanatomiques précis des mécanismes cognitifs impliqués dans le processus de changement de niveau à partir d'un paradigme de présentation en champ visuel divisé. Une étude en imagerie cérébrale apporte cependant des arguments pour un rôle crucial de l'HG pour ces alternances, avec un accroissement des activations cérébrales dans l'aire motrice supplémentaire gauche et dans le cortex temporal médian gauche lorsque le nombre de changements de niveaux augmente dans la tâche (Fink, & al., 1997a). De même, l'alternance s'accompagne de la modulation d'une onde positive à 290 ms, qui correspondrait aux régions temporales postérieures gauches et pariétales gauches (Schatz & Erlandson, 2003). Dans notre expérience, un effet négatif du changement de niveau, évalué en comparant les conditions *MNR* et *2 répétitions avant un changement*, est présent dans les deux hémichamps visuels. Toutefois, un aspect des résultats va dans le sens des éléments de la littérature que nous venons d'évoquer : l'avantage de l'HG est plus marqué dans la condition impliquant une alternance entre niveaux (condition 2 répétition) que dans les conditions sans changement de niveau (l'avantage de l'HG est tout juste significatif pour la condition MNR et n'est pas présent pour la condition MN). Cela concorde donc avec les données de Fink et ses collègues (1997a) et de Schatz et Erlandson (2003), qui évoquent une compétence particulière de structures de l'HG pour le processus général de changement de niveau.

Pour ce qui est finalement de l'effet de l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement, nous relevons, comme dans nos expériences précédentes et dans celle de Wilkinson et ses collègues (2001), son influence négative sur les performances, tant pour l'exactitude que pour la vitesse de réponse, conformément à l'**Hypothèse 2a**. De plus, alors que l'effet de changement de niveau (conditions MNR versus 2 répétitions avant un changement) se manifeste dans l'un comme dans l'autre hémichamp visuel, le fait d'avoir été préalablement fortement engagé dans un mode de traitement devenu inapproprié (conditions 4 répétitions avant un changement versus 2 répétitions avant un changement) n'exerce un effet négatif de façon significative que dans le CVD-HG sur les temps de réponse comme sur les taux d'erreurs. Dans l'ensemble, ces données vont donc dans le sens de l'**Hypothèse 2b** et contribuent à défendre l'idée d'une compétence particulière de l'HD pour une opération de désélection permettant d'inhiber le mode de traitement devenu incorrect.

Enfin, un autre argument, inattendu, vient appuyer la pertinence d'une distinction entre le processus général de changement de niveau et l'opération de désélection. Nous avons proposé d'étudier cette dernière opération en évaluant l'effet de l'augmentation des répétitions (4 plutôt que 2) dans le contexte précédant le *switch*. Or, il se trouve que les facteurs catégorie et contexte interagissent sur les latences et cela s'explique par le fait que l'effet du changement de niveau (différence entre conditions MNR et 2 répétitions avant un *switch*) est significatif uniquement sur les dessins d'objet, alors que l'effet du nombre de répétitions avant ce changement (différence entre 2 répétitions et 4 répétitions avant un *switch*) est quant à lui significatif sur les deux catégories. Le fait qu'un facteur, ici la catégorie, exerce un effet différent dans l'un et l'autre cas plaide en faveur d'une certaine distinction entre les opérations mentales évaluées, ce qui est cohérent avec notre **Hypothèse générale 2** décrivant le processus de changement de niveau comme complexe et impliquant diverses opérations.

Expérience 4

Cette dernière expérience proposée aux jeunes adultes est une épreuve utilisant les mêmes stimuli et mode de présentation (unilatéral) que dans les expériences précédentes, mais qui repose sur un autre paradigme expérimental, impliquant des processus attentionnels différents. Alors que, dans les épreuves précédentes, la cible apparaissait à un niveau qui ne pouvait être prédit (paradigme dit *d'attention divisée*), nous présentons cette fois dans des blocs séparés les stimuli contenant la cible au niveau global et celles qui la contiennent au niveau local (paradigme *d'attention focalisée*). Comme dans les Expériences 1a, 1b, 2a, 2b et 3, les lettres hiérarchisées et les dessins d'objets hiérarchisés sont présentés dans des blocs séparés : l'Expérience 4 est donc composée d'un ensemble de 4 blocs pour chaque participant.

L'hypothèse principale concerne, ici encore, l'influence de la catégorie du stimulus (lettre ou dessin d'objet) sur la dominance hémisphérique observée pour le traitement des deux niveaux. Comme précédemment, notre hypothèse porte essentiellement sur une telle modulation intervenant pour traiter le niveau local. Nous avons recueilli dans les épreuves précédentes des indices permettant de dire que la dominance hémisphérique pour le traitement de ce niveau n'est pas seulement déterminée par l'implication de mécanismes spécialisés pour ce niveau de complexité et dont les supports neuroanatomiques sont latéralisés dans l'HG : elle est aussi influencée par le contenu du stimulus, au moins si celui-ci est connu à l'avance. Selon l'interprétation de Fink et ses collègues (1997b), un mécanisme de haut niveau tenterait de compenser la vulnérabilité de l'extraction d'information au niveau local en incitant, pour ce niveau, l'implication prioritaire de mécanismes latéralisés dans l'hémisphère le plus compétent pour traiter la catégorie du matériel. Nous pensons que cette influence de haut niveau devrait pouvoir se manifester aussi bien dans le contexte d'une épreuve d'attention focalisée que dans celui d'une tâche d'attention divisée.

En outre, pour vérifier que l'influence des caractéristiques de la tâche, dans cette expérience, est conforme à celle qui est décrite dans la littérature, nous souhaitons nous assurer qu'elle donnait lieu à un avantage du niveau global (malgré la proposition d'un matériel relativement bien équilibré pour la difficulté de traitement des deux niveaux), phénomène connu pour se manifester plus fortement dans les épreuves d'attention focalisée que dans les épreuves d'attention divisée. Pour cela, nous attendions non seulement de meilleures performances générales pour la discrimination de cibles au niveau global qu'au niveau local, mais aussi une asymétrie des effets d'interférence. Nos hypothèses opérationnelles sont donc les suivantes.

Hypothèse opérationnelle 1f : *dans cette épreuve d'attention focalisée sur un même niveau (global ou local) pendant chaque bloc, avec des stimuli de catégorie homogène dans chaque bloc, le traitement du niveau local fera l'objet d'une dominance de l'HG pour les lettres hiérarchisées et d'une dominance de l'HD pour les dessins d'objets hiérarchisés, avec des tendances opposées pour le traitement du niveau global.*

Hypothèse opérationnelle 1g , : nous attendons un amoindrissement des performances pour les items contenant une information concurrente, vis à vis de la réponse, au niveau devant être ignoré, et cet effet négatif devrait être plus marqué lorsque l'interférence est issue du niveau global plutôt que du niveau local.

1. Méthode

1.1. Participants

Trente-deux étudiants droitiers (plus de 80% de bonnes réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh), dont 21 filles et 11 garçons de l'Université Lumière Lyon 2 (moyenne d'âge = 22.9 ans et écart-type = 3.6) ont participé à cette expérience. Ils ont tous une vue normale ou corrigée. Tous les participants ont rempli un formulaire de consentement.

1.2. Stimuli

Cette expérience comporte 512 stimuli répartis en 4 blocs. Deux blocs sont constitués de lettres hiérarchisées de taille identique à celles des Expériences 1a et 2a aussi bien au niveau global qu'au niveau local. Dans l'un des blocs, l'attention est focalisée au niveau global, dans l'autre, elle est focalisée au niveau local. Les deux autres blocs sont constitués de dessins hiérarchisés de taille identique à ceux des Expériences 1b et 2b. Dans l'un des blocs, l'attention est focalisée au niveau global, dans l'autre elle l'est au niveau local. Chaque bloc comporte 128 stimuli, dont 32 stimuli pour la condition piège (une cible concurrente est située au niveau devant être ignoré) et 96 stimuli pour la condition contrôle (pas de cible concurrente) (Voire les exemples Figure 34). Dans chaque stimulus, le niveau sur lequel l'attention doit être focalisée contient toujours l'une des deux cibles en proportions équivalentes (E ou M pour les lettres hiérarchisées ; l'étoile ou la lune pour les dessins hiérarchisés).

Pour les lettres hiérarchisées, le niveau sur lequel l'attention ne doit pas se porter est constitué à partir des dessins d'objets les lettres H, T ou A (condition contrôle) ou des lettres E ou M (condition piège). Pour tous les stimuli, la lettre cible et la lettre concurrente sont toujours distinctes. Les stimuli pièges sont donc un grand E constitué de petits M et un grand M constitué de petits E.

Pour les dessins hiérarchisés le niveau sur lequel l'attention ne doit pas se porter est constitué de dessins d'objets, champignon, ou croix, cœur (condition contrôle), soit la (des) lune(s) ou une (des) étoile(s) (condition piège). Pour tous les stimuli, la cible et le(s) dessin(s) concurrent(s) sont toujours distincts. Les stimuli pièges sont donc une grande étoile constituée de petites lunes et une grande lune constituée de petites étoiles.

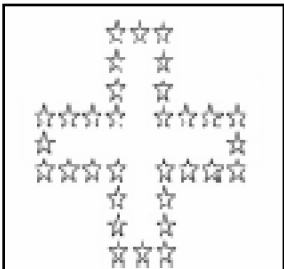
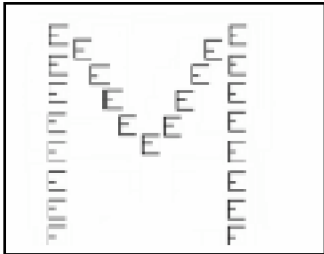
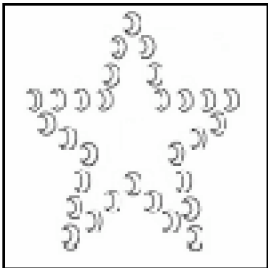
	Catégorie	
Condition	Lettre	Dessin d'objet
Contrôle		
Piège		

Figure 34. Exemples de stimuli pour les blocs avec focalisation au niveau local, selon la condition (contrôle, piège) et la catégorie du stimulus (lettre ou dessin d'objet hiérarchisé).

1.3. Matériel et Procédure

Chaque participant effectue l'épreuve sur les quatre blocs en passation individuelle assis à 57 cm de l'écran d'un ordinateur portable iBook. Pour chaque bloc, la consigne est de se concentrer sur un seul niveau (global ou local). Chaque essai commence par la présentation d'un signe égal (=) comme point de fixation au centre de l'écran. (identique à celui des autres expériences, il mesure 0.6% d'angle visuel). Celui-ci reste à l'écran pendant 975 ms. Pendant les 175 dernières millisecondes de présentation de ce point de fixation (c'est-à-dire 800 ms après l'apparition du signe =), un stimulus hiérarchisé apparaît dans l'hémichamp visuel gauche ou droit dans les proportions équivalentes. L'extrémité du stimulus la plus proche du centre de l'écran est distante de 2° d'angle visuel de ce point de fixation. Le participant a pour consigne de se concentrer à un seul niveau, global ou local selon le bloc, de fixer son regard et son attention sur le point de fixation et d'appuyer sur la touche (à gauche ou à droite) correspondant à la cible qu'il a discriminée, en utilisant l'index gauche pour l'une des touches, l'index droit pour l'autre touche. Il est informé que des pièges existent, une planche présentant chacun des stimuli possibles dans un bloc est présenté avec la consigne précise avant chaque bloc et le participant est invité à s'entraîner à répondre verbalement pour chaque expérience. Dans

chaque bloc, chaque stimulus hiérarchisé particulier est présenté un même nombre de fois dans le CVG et le CVD, ce qui permet d'équilibrer les proportions d'essais pour lesquels il y a, ou non, compatibilité entre le côté d'apparition du stimulus et le côté de la touche de réponse. Le stimulus qui précède un stimulus piège est toujours un stimulus contrôle présenté dans le même champ visuel et contenant la même cible dans 50% des cas et l'autre cible dans 50% des cas. De plus, le nombre de stimuli successifs présentés du même côté ou contenant une même cible va de 1 à 3, sans régularité particulière. Chaque participant réalise ainsi l'épreuve dans chacun des 4 blocs, avec un nombre équivalent de sujets (8) pour chacun des quatre ordres suivants :

	Ordre de présentation des 4 blocs de l'Expérience 3			
	1 ^{er} bloc	2 ^{ème} bloc	3 ^{ème} bloc	4 ^{ème} bloc
Ordre 1	Lettre global	Lettre local	Dessin global	Dessin local
Ordre 2	Lettre local	Lettre global	Dessin local	Dessin global
Ordre 3	Dessin global	Dessin local	Lettre global	Lettre local
Ordre 4	Dessin local	Dessin global	Lettre local	Lettre global

Tableau 2. Présentation des 4 ordres de passations proposés pour les 4 blocs dans l'Expérience 4.

Chaque bloc est précédé de la consigne précise sur le niveau à sélectionner, les cibles à discriminer, les touches de réponse, une série d'essais de réponses verbales sur une planche et une série de 12 essais de pratique sur ordinateur. L'ensemble de l'Expérience dure 30 minutes.

2. Résultats

Nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées sur les TR pour les décisions exactes et sur les pourcentages d'erreurs, avec les 4 facteurs intra-individuels niveau (global, local), champ (CVG-HD, CVD-HG), interférence (contrôle, piège) et catégorie (lettre, dessin). Les temps déviants (supérieurs à la moyenne plus deux écarts-types ou inférieurs à la moyenne moins deux écarts-types de la condition concernée) ont été exclus de l'analyse.

L'analyse des TR révèle un effet du champ, avec des réponses plus rapides pour le CVD-HG (561 ms) que pour le CVG-HD (586 ms), $F(1,31) = 46.17, p = .0001$, ainsi qu'un effet du niveau, avec une plus grande rapidité pour les cibles au niveau global (518 ms) qu'au niveau local (629 ms), $F(1, 31) = 270.07, p = .0001$. Le facteur interférence a également un effet sur les TR, $F(1, 31) = 97.88, p = .0001$, car les sujets sont plus rapides dans la condition contrôle (554 ms) que dans la condition piège (593 ms), et surtout l'interaction Interférence X Niveau, attendue dans nos hypothèses, est également

présente, $F(1,31) = 46.27$, $p = 0.0001$. Certes, l'analyse des contrastes montre un effet significatif de l'interférence, que celle-ci vienne du niveau local, $F(1, 31) = 29.49$, $p = .0001$ ou du niveau global, $F(1, 31) = 226.50$, $p = .0001$, toutefois la taille de cet effet est plus grande lorsque l'interférence vient du niveau global (différence = 59 ms) plutôt que du niveau local (différence = 21 ms), $t(31) = 5.656$, $p = .0009$ ce qu'illustre la Figure 35.

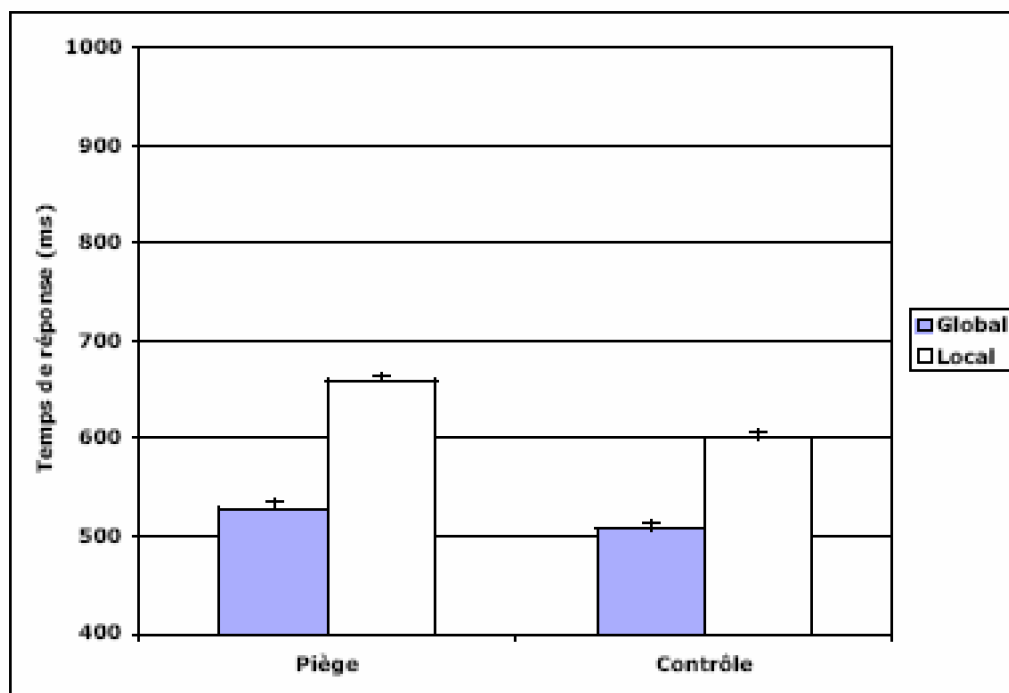


Figure 35. Temps de réponses et erreurs standard selon le niveau et l'interférence dans l'Expérience 4.

L'interaction Interférence X Champ est significative, $F(1, 31) = 5.37$, $p = .027$, reflète par ailleurs un ralentissement dû au piège plus marqué en CVD – HG qu'en CVG – HD, $t(1, 31) = 5.854$, $p = .0009$. Enfin, nous relevons une interaction Niveau X Champ X Interférence tout juste significative, $F(1,31) = 4.147$, $p = .0503$. Cette interaction combinant les trois facteurs s'explique par un effet du champ sur l'asymétrie de l'interférence. Elle permet de préciser que c'est plus particulièrement dans le CVG-HD que l'interférence du niveau global sur le local, $F(1, 31) = 137.126$, $p = .0001$ est nettement plus marquée que l'interférence venant du local, $F(1, 31) = 4.34$, $p = .046$ (Figure 36) même si dans les deux cas l'interférence est significative. L'asymétrie de l'interférence, calculée comme la différence entre l'effet négatif de l'interférence venant du niveau global et l'effet négatif de l'interférence venant du local, est comparée entre le CVG-HD et le CVD-HG par un t de Student. Le résultat significatif, $t(31) = 5.656$, $p = .0001$, permet de confirmer que l'interférence du global sur le local est plus forte que l'interférence inverse surtout pour les stimuli présentés en CVG-HD.

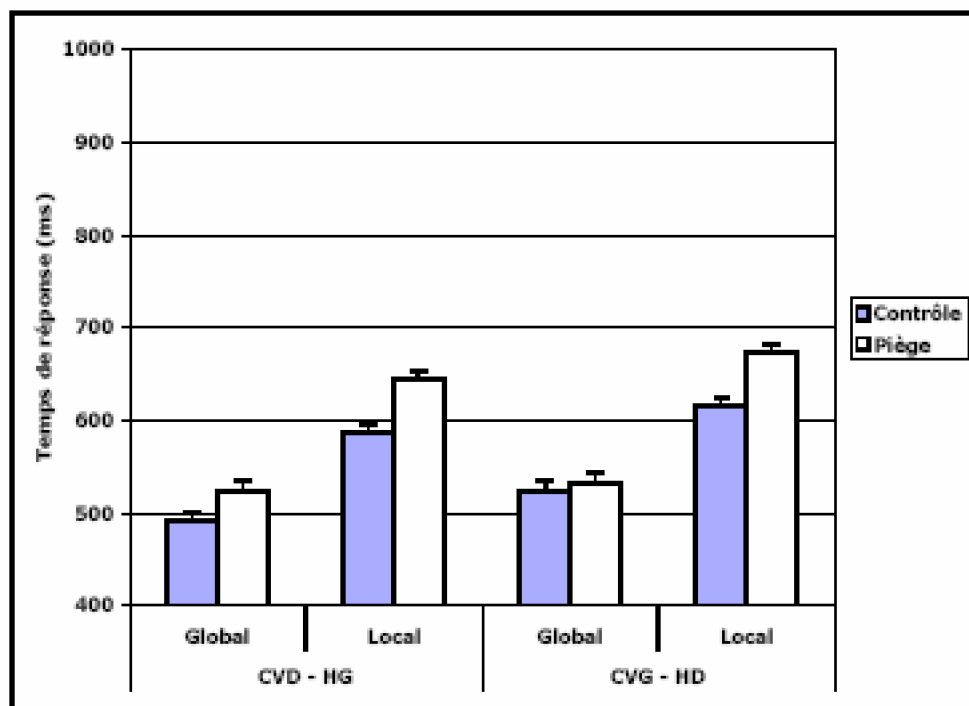


Figure 36. Temps de réponses et erreurs standard selon l'interférence, le niveau et le champ visuel de présentation dans l'Expérience 4.

Enfin, la catégorie qui n'exerce pas d'effet principal, interagit avec le niveau, $F(1, 31) = 4.17$, $p = .0498$. Comme le montre la Figure 37, la rapidité de réponse ne diffère pas entre les lettres et les dessins au niveau global, $F < 1$, alors qu'au niveau local les petites lettres (621 ms) sont traitées plus rapidement que les petits dessins (637 ms), $F(1, 31) = 4.181$, $p = .049$.

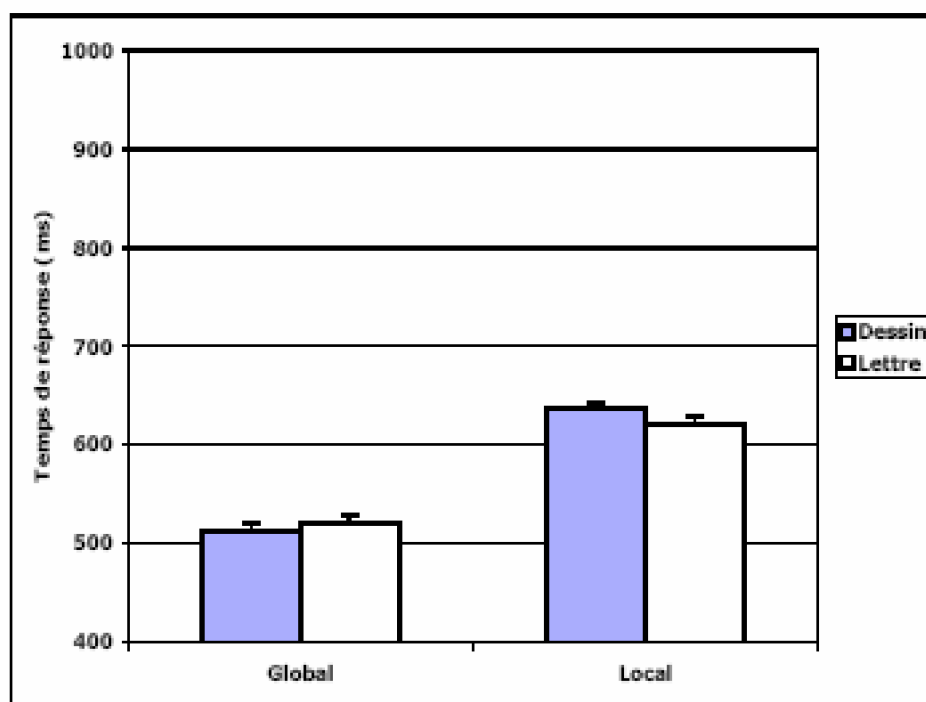


Figure 37. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le niveau dans l'Expérience 4.

Par contre, l'interaction Catégorie X Niveau X Champ ne n'est pas significative, $F < 1$, ce qui ne permet pas de mettre en évidence de forte modulation de l'asymétrie hémisphérique par la catégorie du stimulus pour le traitement au niveau local, comme dans les expériences avec attention divisée. Toutefois, dans le soucis de vérifier si les données de cette épreuve présentent tout de même une certaine cohérence avec les précédentes sur ce point, nous avons comparé l'avantage du CVD – HG sur le CVG – HD relevé pour le traitement local des lettres et des dessins : cet avantage tend à être plus marqué sur les lettres (différence = 34 ms) que sur les dessins (24ms), $t(1, 31) = 1.57$, $p = .063$, ce qui va dans le sens de notre hypothèse (Figure 38).

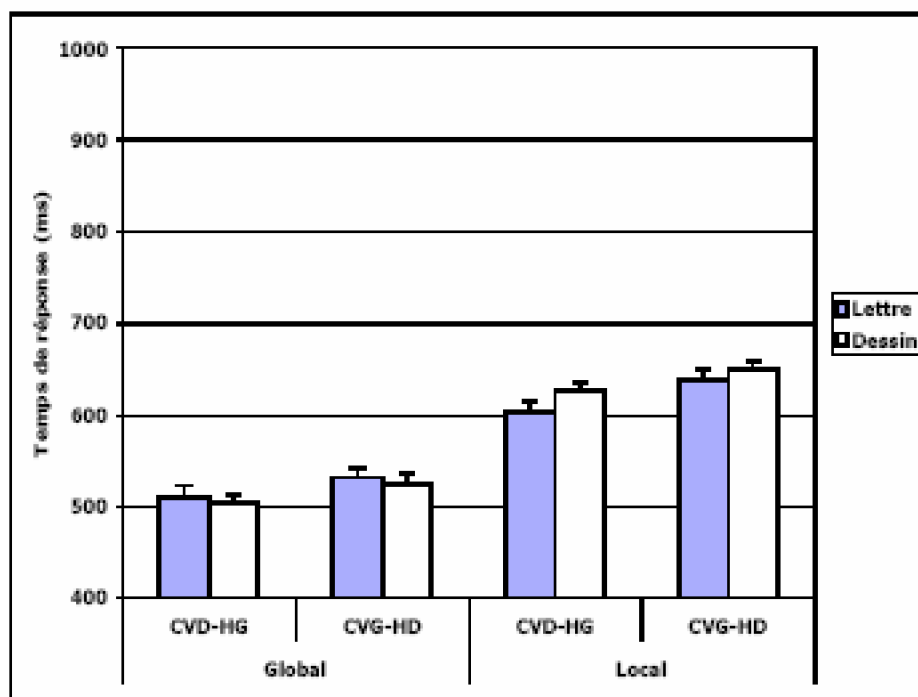


Figure 38. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie, le champ de présentation et le niveau dans l'Expérience 4.

L'analyse des pourcentages d'erreurs montre un effet de la catégorie, avec moins d'erreurs pour les dessins (3.5%) que pour les lettres (4.4%), $F(1, 31) = 6.76, p = .014$. Ainsi qu'un effet du niveau, $F(1, 31) = 15.43, p = .0004$, avec moins d'erreurs au niveau global (2.9%) qu'au niveau local (5%). Nous observons aussi un effet d'interférence, avec des pourcentages d'erreurs plus élevés en condition piège (5.6%) qu'en condition contrôle (2.3%), $F(1, 31) = 47.003, p = .0001$, et surtout l'asymétrie classique de l'effet d'interférence est présente avec l'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 31) = 10.07, p = .003$, illustré en Figure 39. Certes, la présence du piège au niveau local retarde le traitement en cas de focalisation au niveau global (différence = 1.7%), $F(1, 31) = 5.361, p = .0257$, tout comme un piège au niveau global accroît le pourcentage d'erreurs lors d'une focalisation au niveau local (différence = 5%) $F(1, 31) = 46.273, p = .0001$. Toutefois, un test de Student comparant ces deux effets d'interférence montre que celui venant du niveau global est plus délétère que celui venant du niveau local, $t(1, 31) = 5.32, p = .0004$. L'interaction Catégorie X Champ est significative, $F(1, 31) = 5.49, p = .0257$. L'analyse des contrastes montre un avantage des dessins sur les lettres en CVG-HD, $F(1, 31) = 7.91, p = .0085$ et les lettres tendent à être traitées de manière plus exacte en CVD - HG qu'en CVG - HD, $F(1, 31) = 3.757, p = .062$.

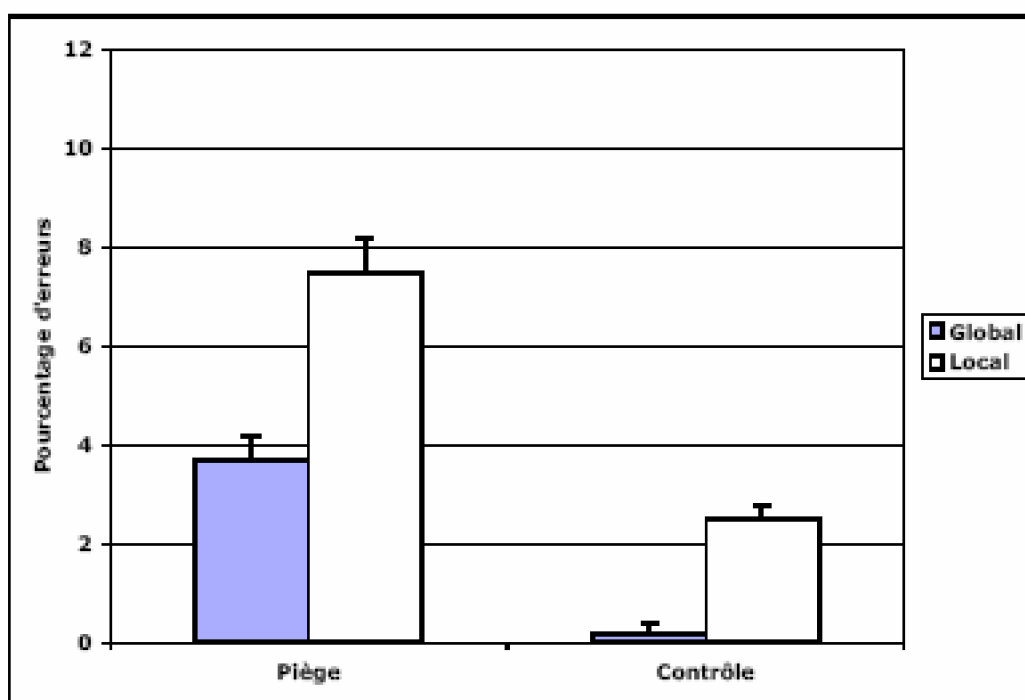


Figure 39. Pourcentage d'erreurs et erreurs standard selon le niveau et l'interférence dans l'Expérience 4.

Bien que l'interaction Catégorie X Champ X Niveau ne soit pas significative, $F(1, 31) = .091$, $p = .3464$, nous nous sommes intéressés aux contrastes qui en sont issus étant données les hypothèses. Comme le montre la Figure 40, au niveau local, les lettres sont mieux traitées en CVD–HG qu'en CVG–HD, $F(1, 31) = 6.226$, $p = .0182$, alors que les dessins sont mieux traités en CVG–HG qu'en CVD–HG, $F(1, 31) = 4.116$, $p = .0511$. Des analyses de variance partielles réalisées séparément sur les données obtenues lors de la focalisation au niveau global et au niveau local confirment l'intérêt de l'inversion d'asymétrie hémisphérique constatée pour le niveau local selon la catégorie, phénomène conforme à notre hypothèse. En effet, l'interaction Catégorie X Champ est significative pour les blocs où le sujet sélectionne le niveau local, $F(1, 31) = 5.04$, $p = .032$, mais pas pour les blocs où il sélectionne le niveau global, $F(1, 31) = 2.65$, $p = .1137$.

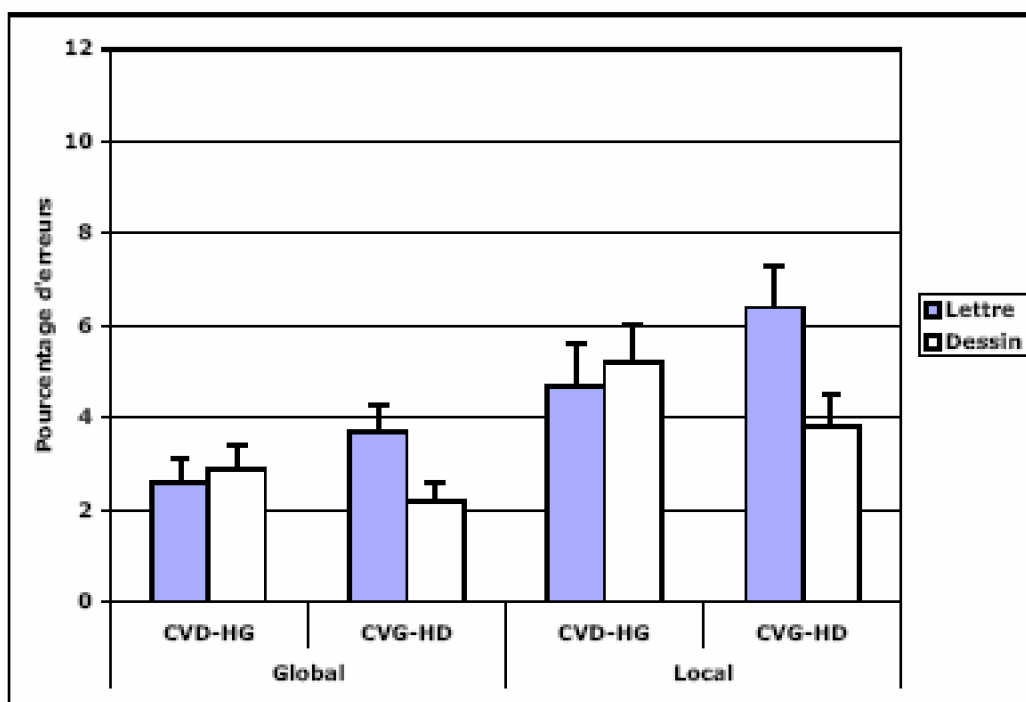


Figure 40. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon la catégorie, le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 4.

4. Discussion

L'Expérience 4 était destinée à tester la modulation de la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global, et surtout local, par la catégorie du matériel, dans une épreuve plus proche de celles utilisées par Fink et ses collègues (1996, 1997b), mais aussi moins propice que nos expériences précédentes (avec attention divisée) à laisser émerger des effets de dominance hémisphérique pour les niveaux, comme nous l'avons vu dans la partie 2.3.1. du Chapitre I. Dans cette expérience, nous attendions également la réplique d'effets typiquement associés aux tâches d'attention focalisée : un avantage du niveau global aurait plus de chance d'apparaître ici que dans les épreuves d'attention divisée et l'interférence produite par une information située au niveau que la consigne demande d'ignorer devrait être plus forte quand elle est issue du niveau global plutôt que local (Luna, Merino, & Marcos-Ruiz, 1990 ; Navon, 1977 ; Navon & Norman, 1983 ; Peressotti, Rumati, Nicoletti, & John 1991 ; Proverbio, Minniti, & Zani, 1998).

Avant de discuter ces deux points, précisons que nous observons, dans cette expérience comme dans les précédentes, un avantage pour le traitement des lettres qui se traduit ici par une plus grande exactitude de réponse pour le matériel alphabétique que pour les dessins d'objets. Ajoutons que les lettres semblent bien avoir été traitées en tant que matériel linguistique, comme en témoigne l'interaction Catégorie X Champ sur les pourcentages d'erreurs : les lettres tendent à être traitées avec une exactitude plus grande quand elles sont plus directement adressées à l'HG qu'à l'HD, et la présentation en

CVG-HD s'accompagne d'un avantage significatif des dessins sur les lettres. D'autre part, sur les temps de réponse, l'interaction Catégorie X Niveau confirme un résultat déjà observé dans l'Expérience 2c : l'avantage pour les lettres n'est significatif qu'au niveau local, ce qui pourrait peut-être traduire la mise en place, chez l'adulte, d'une compétence particulière à traiter les lettres en tant que détails d'un stimulus visuel complexe, compétence utile pour identifier rapidement les lettres au sein du mot. De plus, cet effet accrédite encore l'idée selon laquelle l'avantage d'un niveau sur l'autre ne dépend sans doute pas seulement des caractéristiques physiques des stimuli, telles que leur contenu en termes de fréquences spatiales (De Lillo et al., 2005 ; Deruelle & Fagot, 1997 ; Fagot & Tomonaga, 1999 ; Lamb & Yund, 1993, 1996 ; Lovegrove & Pepper, 1994) : le contenu de l'information, la catégorie dont elle relève et sans doute sa familiarité jouent aussi leur rôle.

Pour ce qui est de la modulation des dominances hémisphériques pour les traitements global et local selon la catégorie du matériel, les résultats apportent des éléments favorables à l'**Hypothèse 1f**. Concernant les temps de réponse, les effets sont très minimes. L'interaction Catégorie X Niveau X Champ n'est en effet pas significative, bien que le traitement local des lettres s'accompagne d'un avantage plus marqué de l'HG que le traitement local des dessins d'objets. Cet effet, qui n'est qu'une tendance, de plus issue d'une interaction non significative, ne témoigne que d'une modulation très modérée de la dominance hémisphérique pour ce traitement par la catégorie du matériel. Le sens dans lequel elle se manifeste est néanmoins conforme à celui observé, de manière plus claire, dans les expériences en attention divisée. Pour ce qui est des pourcentages d'erreurs, les résultats sont plus nettement conformes à notre hypothèse. En effet, l'interaction Catégorie X Niveau X Champ est cette fois significative. Elle provient du fait que les lettres sont mieux traitées en CVD-HG qu'en CVG-HD et les dessins sont mieux traités en CVG-HD qu'en CVD-HG d'une manière générale, mais de façon plus claire pour le niveau local, seul niveau pour lequel l'interaction Catégorie X Champ est significative. Encore une fois, le traitement local ne fait pas l'objet d'une dominance hémisphérique gauche générale, la dominance hémisphérique étant modulée par les catégories. En d'autres termes, ce résultat est compatible avec l'hypothèse selon laquelle, pour compenser la vulnérabilité du niveau local, un processus de haut niveau tendrait à favoriser pour son traitement l'implication de structures cérébrales latéralisées selon leur compétence pour le traitement des catégories : cela se traduit ici par un avantage significatif de l'HG pour le traitement local des lettres hiérarchisées et un avantage de l'HD pour le traitement global des dessins d'objets.

Par ailleurs, comme le prédisait l'**Hypothèse 1g** et en conformité avec beaucoup de résultats relatés dans la littérature sur le sujet, nous observons dans cette expérience d'attention focalisée un avantage du niveau global, qui se manifeste par des latences significativement plus courtes et des réponses significativement plus exactes au niveau global qu'au niveau local, mais aussi par l'asymétrie des effets d'interférence. Ainsi, l'interaction significative Interférence X Niveau sur les temps de réponse comme sur les taux d'erreurs réplique chez ces jeunes adultes l'effet classique d'asymétrie de l'interférence : l'effet négatif de la perturbation issue du niveau global est significativement plus fort que celui produit par le niveau local, ceci pour les deux variables dépendantes.

Nous observons bien, dans l'Expérience 4, un avantage du niveau global très net sans doute dû à la tâche d'attention focalisée, connue pour favoriser cet effet.

5. Discussion générale pour les expériences conduites chez les jeunes adultes

La question de la façon dont sont traités les stimuli visuels complexes est aujourd'hui abordée d'une façon qui tente d'articuler trois sources : 1/ le rôle de contraintes de bas niveau, imposées par les caractéristiques physiques des objets et celles des mécanismes visuels élémentaires, 2/ l'influence de mécanismes attentionnels latéralisés qui mettent en œuvre des modes d'analyse spécialisés pour des informations situées à un certain niveau de la hiérarchie de l'objet, et 3/ la mise en place de processus de haut niveau capables d'aiguiller l'implication de tel ou tel mécanisme spécialisé pour participer au traitement de l'information au niveau global et au niveau local.

Le rôle de cette troisième source n'a de sens que si elle peut effectuer des choix. Or, il ne serait pas question de choix si les seuls mécanismes spécialisés participant au traitement de l'information à chaque niveau étaient seulement ceux proposés dans la source n°2. L'idée d'un processus attentionnel de régulation intervenant de façon descendante dans de tels traitements visuels implique que les mécanismes spécialisés, susceptibles de participer à l'analyse de l'information, ne soient pas seulement ceux qui se distinguent par leur compétence pour un certain niveau d'analyse. C'est ici qu'intervient l'idée selon laquelle des mécanismes spécialisés pour le traitement de certains contenus d'information (certaines catégories d'objets) pourraient aussi jouer un rôle.

Cette idée est sous-jacente à la proposition émise par Fink et ses collègues (1997b) pour interpréter la découverte d'un phénomène assez inattendu, manifesté à travers des données en imagerie cérébrale : l'analyse de l'information locale ne s'accompagne pas systématiquement d'une dominance de l'HG et celle de l'information globale d'une dominance de l'HD, comme cela pourrait être le cas dans un système qui n'engagerait, pour chaque niveau d'analyse, que les mécanismes spécialisés pour leur compétence à traiter un certain niveau (à cet égard, les mécanismes sensoriels, mais aussi attentionnels, spécialisés pour le niveau local sont censés être essentiellement sous-tendus par des structures cérébrales de l'HG, alors que ceux qui sont spécialisés pour le niveau global sont censés dépendre de régions cérébrales de l'HD). Rappelons que ces auteurs montrent en effet que la configuration des latéralisations hémisphériques classiquement associées aux niveaux global et local n'est vérifiée que pour le traitement de lettres hiérarchisées, mais qu'elle s'inverse pour le traitement de dessins d'objets hiérarchisés. Aussi, des mécanismes dont la latéralisation dépend certainement de la spécialisation pour certaines catégories d'objets pourraient intervenir.

L'intérêt de l'explication proposée par Fink et ses collègues est de décrire une règle, qui serait suivie par un processus de haut niveau (*i.e.*, source n°3), visant à optimiser l'analyse de l'information et déterminant pour cela l'engagement de divers mécanismes latéralisés, non seulement pour leur compétence relative à certains niveaux d'analyse mais aussi relative à certains contenus. Leur interprétation est fermement engagée puisqu'elle énonce que la catégorie (et non le niveau de complexité dans la hiérarchie) est

un déterminant majeur des influences de haut niveau sur l'implication de structures latéralisées, et son impact sur la distribution des ressources est si fort qu'il peut renverser la dominance hémisphérique classique pour les niveaux. C'est ce qui expliquerait que, dans leurs expériences, la focalisation au niveau local de dessins d'objets hiérarchisés s'accompagne d'activations cérébrales latéralisées dans l'HD (à cause de mécanismes spécialisés dans la reconnaissance d'objets) et que la focalisation au niveau local de lettres hiérarchisées corresponde à l'activation de régions cérébrales analogues de l'HG, spécialisé pour le domaine verbal.

Rappelons que, selon eux, en suivant cette règle, le processus de régulation de haut niveau permettrait d'optimiser l'analyse de l'information locale, en mobilisant pour cela des mécanismes spécialisés pour la catégorie à traiter. Favoriser ainsi le traitement de ce niveau serait une bonne stratégie, puisque l'information locale serait, la plupart du temps, plus difficile à extraire à cause d'une moindre saillance.

Le renversement de la latéralisation des activations en fonction des catégories au niveau global ne serait, selon eux, qu'une conséquence indirecte des choix effectués par le processus de haut niveau : les mécanismes les plus disponibles pour prendre en charge le niveau global seraient ceux sous-tendus par l'hémisphère non engagé dans l'analyse au niveau local. C'est pourquoi le niveau global des dessins d'objets hiérarchisés s'accompagnerait d'activations cérébrales essentiellement latéralisées dans l'HG, des mécanismes sous-tendus par l'HD étant déjà mobilisés pour l'analyse de leurs détails. Cette dernière explication est plus indirecte. Elle nous paraît donc moins convaincante que celle proposée pour les phénomènes de dominance hémisphérique associés au niveau local, et les tentatives de réplique de cet aspect des résultats n'ont d'ailleurs pas été très concluantes (Bedson & Turnbull, 2002). C'est pourquoi, dans ce cadre, le premier objectif de l'ensemble des 8 premières expériences relatées dans cette thèse était de tenter de répliquer le phénomène observé par Fink et ses collègues, avec une technique et des situations différentes de celles de ces auteurs, en espérant surtout obtenir des indices d'une modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local. Nous attendions pour ce niveau d'analyse une véritable inversion des dominances hémisphériques selon les catégories, et une modulation plus modeste pour le niveau global.

Il nous paraissait important de tenter de répliquer ces effets, et de tester plus directement l'hypothèse sous-jacente de Fink et ses collègues concernant le haut niveau dont relèverait le processus responsable de ces modulations. Peu de travaux ont tenté de telles répliques, malgré l'intérêt que nous semblent avoir ces effets. Ils permettent en effet d'envisager les traitements d'objets visuels complexes dans une perspective plus large, prenant en compte des aspects plus variés du fonctionnement cognitif, et permettant de se rapprocher de conditions plus écologiques des traitements visuels. Les lettres hiérarchisées restent un outil pertinent pour comprendre certains mécanismes visuels, permettant certainement aussi des interprétations assez directes par rapports aux activités de lecture, mais d'autres objets visuels contenant des informations organisées à différents niveaux de complexité s'offrent à nous dans l'environnement et relèvent d'autres domaines que celui des connaissances linguistiques. Il nous semblait donc important de connaître les contraintes imposées par le domaine de connaissance de ces objets

complexes, pour étendre la compréhension du fonctionnement du système visuel dans différents domaines, et permettre aussi une utilisation plus raisonnée de différents types de matériels (lettres, figures géométriques, dessins d'objets hiérarchisés,...) dans d'éventuels contextes de dépistage, de diagnostic ou de rééducation.

L'intérêt de l'utilisation de techniques d'imagerie cérébrales, telles que celles mise en œuvre par Fink et ses collègues (1996, 1997b) est de fournir des indications précises sur la localisation des régions cérébrales dont les activations sont latéralisées différemment selon les conditions. Cela permet notamment aux auteurs de parler d'une modulation de la dominance hémisphérique exercée sur des mécanismes relativement précoces des traitements visuels, impliquant les aires extra-striées. La technique de recueil de données comportementales pour le traitement de stimuli unilatéraux présentés en champ visuel divisé ne permet pas de telles précisions. Il se trouve que cette technique est également peu propice à l'observation de phénomènes de dominance hémisphérique (Blanca & Alarcon, 2001 ; Boles & Karner, 1996 ; Han, & al., 2002 ; Martin, 1979 ; Yovel, Yovel, & Levy, 2001), sans doute parce que l'hémisphère contralatéral au stimulus présenté dans un seul champ tenterait spontanément de traiter les deux niveaux, y compris celui pour lequel il n'est pas très performant, afin de compenser les difficultés de l'autre hémisphère à prendre en charge ce niveau immédiatement (Van Kleeck, 1989). Il nous semble cependant que les limites de la technique de présentation rapide de stimuli unilatéraux peuvent, d'une certaine manière, devenir une force, car si les résultats sont répliqués au-delà des contraintes fixées par cette technique, la généralisation des effets observés paraîtra d'autant plus convaincante.

Outre le recueil de données comportementales, et non d'activations cérébrales, nos expériences ont tenté de répliquer les effets dans des conditions présentant plusieurs différences avec celles retenues par Fink et ses collègues (1996, 1997b). Les demandes de la tâche en terme d'attention sélective sont différentes. Hormis l'Expérience 4, les Expériences conduites utilisent toutes le paradigme d'attention divisée. Ce choix était guidé par le souhait de se donner quelques chances d'observer des effets d'asymétrie hémisphérique, plus fréquemment observés avec ce paradigme qu'avec celui qui requiert une focalisation de l'attention. Avec ce dernier, les mécanismes de contrôle de l'un et l'autre hémisphères risquent en effet de se donner une priorité pour le même niveau d'analyse (celui qui est pertinent), ce qui peut masquer les dominances hémisphériques correspondant aux mécanismes engagés de façon plus spontanée dans les épreuves d'attention divisée (Hübner, 1997 ; Yovel, Yovel, & Levy, 2001). Pour optimiser les chances d'observer des indices d'asymétrie hémisphérique dans les épreuves d'attention divisée, il faut aussi qu'il existe une certaine variabilité au niveau des distracteurs, ce qui est le cas dans nos expériences, afin que des traitements attentionnels soient impliqués. Si les informations situées à l'autre niveau que celui de la cible n'introduisent aucun conflit, soit en étant toujours les mêmes (Shedden, Marsman, Paul, & Nelson, 2003), soit en ne présentant aucune similarité avec la cible (ce qui n'est pas le cas de nos stimuli) et donc aucun conflit (Hübner, Volberg, & Studert, sous presse), le risque est qu'un traitement très superficiel suffise, sans impliquer les mécanismes d'intégration de l'identité des informations et de leur niveau respectif. Or, ce sont ces mécanismes de binding qui seraient particulièrement latéralisés (Hübner & Volberg, 2005, 2007) et il était important

que le choix des distracteurs dans nos expériences leur soit favorable, étant donné notre questionnement sur le rôle des catégories, mais aussi des niveaux, dans la détermination de l'implication de mécanismes cognitifs latéralisés. Notons que d'importants effets liés au contexte des modes de traitement (global ou local) utilisés avant chaque item expérimental soient relevés dans chacune des expériences (1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c et 3) est considéré, par certains auteurs, comme indiquant que le niveau des cibles a vraiment fait l'objet d'un traitement. Ces effets sont donc très rassurants quant à l'implication de mécanismes attentionnels prenant en compte les niveaux dans nos épreuves d'attention divisée (Shedden, Marsman, Paul, & Nelson, 2003).

D'autres choix distinguent nos épreuves de celle de Fink et ses collègues (1997b) et concernent cette fois le matériel. Nous nous sommes tout d'abord efforcé de construire un matériel dont les degrés de difficulté de traitement aux niveaux local et global sont les plus équilibrés possibles, ce qui n'était pas le cas dans les stimuli de l'autre équipe. D'autre part, les dessins de nos objets ne représentent pas les mêmes choses et, surtout, nous n'avons pas mêlé les dessins d'objets à des figures géométriques : pour ces dernières, certains auteurs ont par exemple observé seulement une absence de dominance hémisphérique (Blanca & Alarcon, 2002 ; Polich & Aguilar, 1990) et nous espérions que le choix de dessins de véritables objets donne plus de chances d'impliquer clairement des mécanismes spécialisés de l'HD.

A partir de cet ensemble de choix méthodologiques, les résultats de nos expériences témoignent d'une certaine modulation exercée par les catégories sur les dominances hémisphériques pour les traitements global et local de stimuli hiérarchisés (Kéïta & Bedoin, 2003). Sans revenir sur le détail de ces données, rappelons simplement qu'une interaction significative Champ X Niveau X Catégorie témoigne de cette modulation, sur les temps de réponse sans les Expériences 1a et 1b, sur les taux d'erreurs dans les Expériences 2a et 2b. Les indices d'une inversion de la dominance hémisphérique gauche pour le traitement local en cas de dessins hiérarchisés sont présents dans les Expériences 1a et 1b. Les effets sont encore plus nets dans les épreuves qui évitent que le traitement des items expérimentaux ne soit complexifié par la nécessité de sélectionner une nouvelle réponse et de programmer une réponse motrice différente des précédentes (Expériences 2a et 2b). Nous attendions des effets moins nets au niveau global, et c'est effectivement le cas, bien qu'une atténuation de l'avantage de l'HD pour le traitement global des dessins indique tout de même une incidence du contenu des stimuli également à ce niveau. Ces indices de modulation de la dominance hémisphérique par les catégories sont aussi répliqués dans l'Expérience 3 avec, là aussi, une interaction significative des facteurs niveau, champ et catégorie, dans une situation globalement plus facile puisque la moitié des stimuli expérimentaux ne nécessite pas de changement de niveau : cela montre que les effets de modulation en question ne sont pas seulement restreints à des conditions expérimentales très particulières. Dans le cas d'une tâche d'attention focalisée à des niveaux distincts selon le bloc (Expérience 4), nous avons encore répliqué cette interaction, ce qui étend la portée de ces effets. Cet ensemble de résultats contribue à accréditer la thèse selon laquelle le traitement des informations situées aux différents niveaux de complexité d'un stimulus visuel n'est pas seulement déterminé par l'implication de mécanismes latéralisés selon leur compétence pour le

traitement de certains niveaux, mais aussi pour leur compétence à identifier les objets de certaines catégories.

Afin de pousser le raisonnement un peu plus loin, il nous importait de tester si cette modulation de la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux par les catégories était exercée par un processus de haut niveau, qui dirige en amont l'implication de ces mécanismes latéralisés. Notre hypothèse était que, dans un tel cas, ce processus devait se baser sur la certitude des participants quant à la catégorie à traiter dans les prochains stimuli, et ne pas être tributaire de la perception de cette nature pour chaque stimulus. Dans ce cas, un mélange de lettres et de dessins d'objets hiérarchisés ne devait pas permettre la réalisation d'un tel processus, à cause de l'incertitude introduite à propos des catégories. C'est ce que nous avons vérifié avec l'Expérience 1c, qui mêle lettres et dessins d'objets hiérarchisés. Dans cette expérience, la dominance hémisphérique n'est déterminée que par les mécanismes latéralisés selon leur compétence pour les niveaux, et non pour les catégories. L'Expérience 2c le confirme, et ceci de manière plus ferme encore, avec non seulement une disparition de l'interaction Catégorie X Niveau X Champs (comme dans l'Expérience 1c), mais aussi une interaction significative Niveau X Champ, montrant que les niveaux sont bien ici le seul critère à influencer sur la dominance hémisphérique.

De plus, cette expérience a permis de montrer que la disparition de la modulation exercée par les catégories sur le traitement des niveaux venait bien de l'impossibilité de connaître la catégorie du stimulus à l'avance, en écartant les deux interprétations alternatives qui étaient en revanche possibles pour les résultats de l'Expérience 1c. En effet, dans l'Expériences 2c, le traitement des stimuli expérimentaux n'implique plus de changement de catégorie, ni de changement de réponse, ce qui rend l'épreuve globalement moins difficile et supprime surtout l'avantage général de l'HG (qui était vraisemblablement dû, dans l'Expérience 1c, à la difficulté du traitement, ainsi qu'à des mécanismes spécialisés dans la sélection de réponse et la re-programmation motrice). Dans l'Expérience 2c, l'avantage pour le niveau local observé dans l'Expérience 1c disparaît aussi. C'est pourquoi, dans l'Expérience 2c, il n'est plus possible de dire que la disparition de la modulation du profil de dominance hémisphérique par les catégories soit dû à un masquage par l'avantage général de l'HG, ni par une facilité particulière du traitement local, qui aurait rendu inutile le processus de haut niveau visant à compenser la vulnérabilité de l'analyse de l'information à ce niveau de détails.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats montre que, chez les jeunes adultes, la catégorie influe sur l'asymétrie hémisphérique associée à la discrimination de cibles à chaque niveau d'un stimulus hiérarchisé. Au-delà du simple effet lié à la différence de familiarité entre les deux catégories manipulées, le fait que les lettres, en tant que stimuli alphabétiques, soient plus directement liées au langage que les dessins d'objets ne semble donc pas anodin concernant les effets de dominance hémisphérique observés dans ces expériences. En résumé, le traitement des niveaux ne serait donc pas seulement déterminé par des mécanismes de bas niveau, latéralisés pour leur compétence à traiter des fréquences d'une certaine hauteur, ni même seulement par des mécanismes latéralisés selon leur compétence pour un certain niveau d'analyse, mais aussi par des mécanismes latéralisés pour leur aptitude à prendre en charge la

reconnaissance d'objets d'une certaine catégorie, ceci sous l'influence d'un processus attentionnel de haut niveau, dont nous commençons à mieux comprendre les mécanismes.

L'autre point important dans nos hypothèses concernait les effets de changement de niveau (*switch*) d'un item à l'autre, ces derniers occupant une place privilégiée dans les travaux actuels à propos des modulations que peut exercer l'attention sur le traitement des niveaux global et local.

Nous avons non seulement répliqué l'effet négatif classique d'un tel changement de niveau dans l'Expérience 3, ce qui concorde avec d'autres données de la littérature montrant sa robustesse (Hübner, 2000 ; Kim, Ivry, & Robertson, 1999 ; Lamb, Pond, & Zahir, 2000 ; Lamn & Yund, 1996 ; Robertson, 1996 ; Ward, 1982), mais nous avons aussi montré qu'il s'agit d'un effet graduel, dont l'impact peut être modulé par la force de l'engagement préalable dans un autre mode de traitement. Il apparaît en effet, dans toutes nos expériences d'attention divisée, une influence significative du nombre de répétitions de traitement à un même niveau avant un *switch* entre niveaux, d'un item à l'autre. Comme dans l'expérience de Wilkinson et ses collègues (2001), la différence entre 2 et 4 répétitions avant un changement de niveau suffit à produire cet effet. De plus, cette influence existe aussi bien lorsque le changement de niveau s'accompagne d'un changement de réponse que lorsqu'il est le seul aspect pour lequel une alternance s'impose. Il était important de le vérifier étant données les interactions observées, dans un autre contexte expérimental, entre le changement de réponse et le changement de tâche (Hübner & Druey, 2006).

Il semble donc bien que les ajustements attentionnels souffrent d'une certaine inertie, puisqu'ils restent conformés selon le mode de traitement préalable. Il est possible qu'une plus grande quantité de ressources reste attachée aux mécanismes impliqués dans le mode de traitement qui vient d'être réalisé. Rappelons que, d'après les interprétations actuelles, l'effet du changement de niveau s'explique sans doute en partie par un poids plus fort accordé à l'implication de canaux de traitement spécialisés dans le traitement de certaines fréquences spatiales (Han, He, & Woods, 2000 ; Robertson, 1996). Ce mécanisme n'explique cependant pas tout, puisque l'effet de changement de niveau se produit même quand le traitement de chaque niveau doit se réaliser à partir des mêmes fréquences spatiales (Lamb & Yund, 1996, 2000). Aussi, selon Hübner (2000), ces effets attestent également l'implication de traitements de plus haut niveau, et témoigneraient d'une forme d'amorçage relativement « abstrait », dans lequel les niveaux seraient représentés comme des catégories, un peu comme cela est décrit dans les recherches sur les changements entre tâches (Hübner, Futterer, & Steinhaue, 2001 ; Lamb, Pond, & Zahir, 2000 ; Rogers & Monsell, 1995). Les relations spatiales hiérarchiques entre les multiples informations présentes dans les stimuli hiérarchisés constituent un aspect de la structure de l'objet qui pourrait être conceptualisé. Cet aspect laisserait une trace qui se maintiendrait d'un stimulus à l'autre, ce qui se traduirait par une orientation particulière de l'attention vers les mécanismes impliqués dans le niveau d'analyse en question (Large & McMullen, 2006).

Pour leur part, nos expériences ne permettent pas vraiment de discuter la nature de ce qui est maintenu d'un item à l'autre, et nous avons plutôt tenté de mieux comprendre le

processus de changement de niveau quant à son organisation, en faisant l'hypothèse qu'il est composé d'opérations pouvant être étudiées séparément. Cette perspective est assez nouvelle pour l'étude du processus de changement de niveau mais elle est par contre déjà utilisée dans les recherches sur les changements de tâches (Rushworth, Passingham, & Nobre, 2005), notamment avec une distinction entre le passage lui-même et un mécanisme chargé de résoudre l'interférence entre les tâches en inhibant l'attention portée à ce qui est devenu non pertinent (Rubenstein, Meyer, & Evans, 2001 ; Sylvester et al., 2003). Dans son ensemble, le processus de changement de niveau a plus fréquemment été associé à l'implication de régions de l'HG : des lésions du lobule pariétal inférieur gauche empêcheraient les phénomènes normaux de changement de niveaux, apparemment à cause d'un déficit du maintien de la trace du traitement préalable (Rafal & Robertson, 1995) et des activations cérébrales gauches dans le cortex pariétal médian et l'aire motrice supplémentaire sont associées à l'augmentation du nombre de changements de niveau dans une tâche (Fink et al., 1997a). Notre hypothèse était que, au-delà de l'implication de ces structures associées à l'ensemble du processus de changement de niveau, des régions cérébrales latéralisées dans l'HD pourraient plus particulièrement sous-tendre l'opération qui précède le passage entre les niveaux et que nous avons qualifiée de *désélection*. Basé sur un mécanisme d'inhibition, ce mécanisme pourrait être étudié assez directement à travers sa sensibilité à l'augmentation de la difficulté du désengagement nécessaire par rapport au mode de traitement préalable, difficulté que nous faisons varier avec le facteur *nombre de répétitions avant un changement de niveau*. Wilkinson et ses collègues (2001) avaient déjà montré, en imagerie cérébrale, que le changement de niveau opéré dans des conditions rendant la désélection particulièrement difficile s'accompagne de l'activation non plus seulement gauche, mais bilatérale, du cortex pariétal inférieur. Nous avons observé dans plusieurs expériences relatées dans notre thèse, des indices quant à une meilleure efficacité de structures cérébrales de l'HD dans cette opération de désélection. En effet, l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau affecte davantage les performances pour des stimuli présentés en CVD qu'en CVG et dans la condition pour laquelle la désélection est censée être la plus difficile (après 4 répétitions de traitement à un autre niveau), un avantage de l'HD se dessine (Expérience 1a), parfois significativement (Expériences 2a, 2b, et 3), alors que le changement de niveau lui-même, pris dans son ensemble, fait plutôt l'objet d'une dominance de l'HG (Expérience 3). La dominance hémisphérique droite pour ce mécanisme spécifique de désélection mériterait d'être vérifiée avec d'autres expériences et aussi d'autres méthodes (notamment, en imagerie cérébrale). Si elle devait se confirmer, elle conduirait à encourager une approche componentielle du processus de changement de niveau, ce qui est peut-être intéressant étant donné que celui-ci reste encore largement assez mal compris.

Chapitre II. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez l'enfant

Dans la synthèse proposée par le chapitre « Traitement d'un tout et de ses parties », nous avons fait état d'une distinction aujourd'hui opérée entre deux aspects du traitement d'une totalité. Le *traitement configural* de l'objet est l'aspect sur lequel s'affrontent les approches gestaltiste et structuraliste, la première mettant en avant la rapidité de la prise en compte de relations spatiales entre les composantes sur la base d'une sensibilité à des indices de présence d'une forme complète (connectivité, proximité, similarité des éléments, fermeture, intersection...) qui attireraient l'attention, la seconde soutenant que les composantes sont systématiquement traitées avant la perception d'une totalité. L'autre type de traitement de la totalité, qualifié de *global*, s'oppose directement au traitement local d'un objet analysable en niveaux de complexité hiérarchisés. Nous avons vu qu'une expérience de Kimchi (1994) montre que l'effet de supériorité du niveau global ne dépend pas nécessairement de la présence de propriétés configurales ; de plus, les capacités de traitement global peuvent être épargnées dans certaines pathologies bien que les traitements configuraux soient déficitaires (Rondan & Deruelle, 2006). Le traitement global ne se réduirait donc pas aux capacités de traitement configural. Toutefois, comme la forme de la plupart des objets au niveau global existe généralement grâce à des inter-relations, il paraît souvent difficile, en dehors de situations très artificielles et

particulières, d'isoler le traitement global de l'impact de tout impact issu de propriétés configurales. C'est pourquoi les travaux sur le traitement configural chez l'enfant nous semblent propres à enrichir l'étude développementale du traitement des niveaux global et local, dans la mesure où le traitement de propriétés relationnelles leur est généralement intimement lié : dans les stimuli hiérarchisés classiquement utilisés pour l'étude des traitements global et local, des configurations sont souvent présentes à l'un et l'autre niveaux. Enfin, il se trouve que la plupart des travaux sur les traitements global/local chez l'enfant utilisent le même vocabulaire que celui des études sur les traitements configuraux : dans l'un et l'autre cas, des processus d'intégration et de segmentation sont évoqués et les termes *global* et *configural* sont utilisés indifféremment.

Consacré au traitement de stimuli visuels complexes chez l'enfant, le Chapitre 2 fera d'abord état des études sur le développement des capacités de traitement configural, en sélectionnant les travaux portant spécifiquement sur le traitement de propriétés relationnelles contribuant à percevoir une forme, et proposées par la *Gestalt Theory* comme des caractéristiques de la totalité. Les données actuelles à propos du développement des relations entre traitements global et local seront ensuite présentées. Nous verrons que la question du développement de ces deux modes de traitement est étudiée de plus en plus étroitement avec le développement des capacités attentionnelles.

Comme pour l'adulte, nous nous intéresserons à des influences de haut niveau sur de tels traitements visuo-spatiaux. Il s'agira dans notre thèse de tester tout d'abord si la modulation de l'asymétrie hémisphérique observée chez les adultes (Chapitre 1) pour le traitement du niveau local selon la catégorie des stimuli se met en place graduellement. Cette question implique une synthèse préalable de travaux sur le développement de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements visuo-spatiaux, en particulier pour les modes de traitement global et local, et une évocation des études sur le rôle des connaissances sémantiques dans le traitement différencié des objets d'une scène visuelle chez l'enfant.

Enfin, nous avons étudié les influences de haut niveau sur les traitements global et local chez l'enfant à travers le développement de ses capacités à sélectionner volontairement un niveau d'information dans des stimuli hiérarchisés. Pour cela, la partie théorique présentera des travaux portant sur le développement de certains mécanismes d'attention visuo-spatiale nécessaires à cette sélection, avant d'aborder nos expériences à ce sujet chez des enfants d'école primaire.

1. Analyse de scènes visuelles chez l'enfant : critères pour percevoir une unité

Les jeunes enfants peuvent intégrer des informations visuelles sur la base de certaines propriétés de relation, un peu comme les adultes. Des travaux conduits chez des nourrissons ont permis de montrer que l'intégration des contours dépend fortement de la maturité de V1. Les couches 2 et 3 de V1 cruciales pour ce processus se développent

particulièrement lentement, (Gerhardstein, Kovacs, Ditre & Feher, 2004). De plus, l'intégration spatiale serait sous-tendue par les connexions horizontales « *long-range* », dont le développement tardif peut justifier aussi certaines difficultés d'organisations perceptives du jeune enfant. Pour pallier ces lacunes, l'enfant se baserait précocement sur des compétences ne dépendant pas directement de V1. L'un des premiers principes ainsi utilisés par l'enfant est celui de la cohésion des objets en mouvement (Spelke, 1990). Selon ce principe « des objets qui se déplacent ensemble maintiennent leur connectivité et leur contour » (Spelke, Breinlinger, Jacobson, & Phillips, 1993, p. 1486). Le *common fate* est donc un facteur déterminant pour percevoir l'unité d'un objet chez l'enfant. D'autres critères mis en avant par la théorie gestaltiste, comme la similarité, la bonne continuité, la fermeture et la symétrie y contribuent aussi progressivement mais ils sont utilisés plus tardivement par le jeune enfant au cours du développement.

1.1. Influence du principe de cohésion

Dès 1983, Kellman et Spelke ont montré que des bébés de 4 mois traitent un objet visuel comme une unité, même si certaines de ses parties sont invisibles à cause d'un autre objet situé devant. Ces enfants sont déjà capables de s'appuyer sur le seul fait que les parties visibles de cet objet partiellement masqué subissent un mouvement commun (au même rythme et dans la même direction). Plus récemment, Spelke et ses collègues. (1993) ont montré que ce principe de cohésion est le premier critère utilisé par l'enfant, et ceci dès 1 mois, pour percevoir un objet comme une unité. Pour cela, ils ont tout d'abord testé des adultes pour vérifier qu'un objet constitué de deux parties, mais respectant les règles de bonne continuité, de bonne forme et de similarité de couleur est considéré comme un objet unique (homogène). Il faut pour cela que les participants prédisent qu'il n'y aura pas de séparation en deux si on soulève une partie, et que l'ensemble conservera son unité si un mouvement lui est imprimé. Alors que chez les adultes le respect des critères gestaltistes (similarité de couleur, bonne forme et bonne continuité) est indispensable dans cette expérience pour prédire que l'objet est unique, des enfants de 2 à 5 mois peuvent s'appuyer sur le seul critère de mouvement cohérent de deux parties pour inférer que l'objet est unique, ceci même si ces parties ne respectent pas les critères gestaltistes. En effet, après une phase d'habituation leur présentant deux parties d'objet subissant un mouvement cohérent, ils fixent plus longtemps du regard un couple d'objets plutôt qu'un objet unique, ce qui témoigne de leur inférence à propos de l'unicité de l'objet présenté en phase d'habituation. Les auteurs concluent par contre que ces enfants sont incapables d'utiliser les lois gestaltistes pour percevoir l'unicité de l'objet. Dans une dernière expérience, ils montrent cependant que les enfants commencent à utiliser les critères de similarité (couleur, texture), de bonne continuité et de bonne forme seulement entre 5 et 9 mois pour percevoir un objet comme une entité unique, mais ce critère reste encore peu robuste avant un an. Nous verrons que d'autres chercheurs montrent tout de même parfois une sensibilité plus précoce aux propriétés de relation.

1.2. Influence des critères de similarité

La loi de similarité postule que des stimuli partageant une caractéristique physique sont susceptibles d'être perçus comme appartenant au même objet. Quinn, Burke et Rush (1993) montrent que des enfants de 3 mois peuvent dans certaines situations organiser des scènes visuelles en se basant sur la similarité de luminance entre des éléments (carrés blancs ou noirs) ; il s'agit d'un âge plus précoce que celui décrit par Spelke et ses collègues (1993). Plus récemment, Quinn, Bhatt, Brush, Grimes et Sharpnack (2002) se sont intéressés à l'aptitude des enfants de 3-4 mois et de 6-7 mois à utiliser ce critère de similarité de clarté pour regrouper des objets en colonnes ou en lignes. Une série de quatre expériences utilisant les procédures d'habituation et de préférence pour la nouveauté a confirmé que ce critère peut être utilisé dès 3 mois pour organiser des éléments visuels. Par contre, ces mêmes auteurs montrent qu'il faut attendre 6-7 mois pour que l'enfant parvienne à organiser les stimuli (X et O) en colonnes et en lignes en se basant cette fois sur la similarité de forme. Toute forme de similarité n'a donc pas la même saillance et la similarité de forme est utilisée particulièrement par l'enfant. Dans ces expériences, une matrice de 4 x 4 éléments est proposée et les éléments similaires sont toujours alignés (ligne ou colonne). Cette caractéristique spatiale participe peut-être au rapprochement de ces éléments en un même objet, ce qui implique alors le critère de bonne continuité.

1.3. Influence du critère de bonne continuité

Lorsqu'il s'agit de points ou d'éléments non connectés, leur bonne continuité ou « good continuation » est inférée à partir du constat de leur alignement : ces éléments sont alors perçus comme en prolongement les uns des autres. Cette bonne continuité peut s'appliquer aussi bien à des lignes qu'à des courbes, cercles ou figures présentant une régularité dans leur direction.

Bower (1967) cité par Quinn et ses collègues (1997) observe qu'il est possible d'entraîner des enfants de 6 semaines à répondre par une succion à la présence d'un stimulus constitué d'un triangle partiellement caché par une barre horizontale. Ces bébés fournissent la même réponse à la perception d'un triangle complet mais pas à la perception d'un triangle « cassé » en deux parties, chacune étant pourtant une des deux présentées physiquement lors de l'apprentissage. Ce résultat reflète la prise en compte du critère de bonne continuité pour percevoir un objet comme unique malgré l'interposition d'un cache partiel.

Spelke (1990) relativise cependant la précocité de la prise en compte de ce critère gestaltiste. Son expérience comporte une première phase similaire à celle utilisée par Bower (1967) dans laquelle une figure est présentée pour l'habituation. En phase test, deux figures triangulaires sont proposées : l'une est un triangle et l'autre le tracé d'un triangle interrompu à deux endroits correspondant à la position du rectangle dans le stimulus d'habituation. Les temps de fixation ont été mesurés. Les résultats montrent qu'ils fixent aussi longuement chacun de ces deux stimuli, ce qui conforte les résultats obtenus antérieurement par le même auteur (Spelke, 1985). Selon elle, les enfants de moins de 5 mois ne manifestent leur habituation à une figure unique dans ce type d'expérience que si le stimulus présenté pendant l'habituation mettait en évidence une cohésion à travers le

mouvement. Selon cette recherche, le principe de bonne continuité ne semble donc pas constituer un critère suffisant à 5 mois pour délimiter les contours d'un objet unique. Johnson et Aslin (1996) ont présenté des résultats relativisant eux aussi l'influence du seul critère de bonne continuité pour percevoir une unité. Ils montrent notamment qu'à 4 mois, le bébé est en mesure d'inférer l'unicité d'un objet malgré son occlusion à partir de la bonne continuité des parties visibles, mais seulement à condition que l'ensemble du dispositif soit présenté sur un fond qui se distingue par sa texture.

Certains travaux plaident cependant en faveur d'un impact précoce du seul principe. Ghim (1990) a ainsi testé avec le paradigme d'habituation l'aptitude d'enfants de 3 mois à utiliser ce principe pour percevoir une forme unique. Le stimulus utilisé est la figure de Kanisza permettant à des adultes de percevoir de manière illusoire un carré virtuel à partir de la seule présence d'information à propos des quatre coins (voir Figure partie 2 chez les adultes). Les enfants ont été familiarisés à ce stimulus puis ont été mis en présence d'un carré réel ou d'un triangle. L'analyse de leurs temps de fixation révèle qu'ils ont une préférence pour le triangle, ce qui témoigne de leur habitude préalable à un carré qui a bien été perçu dans la figure de Kanisza. C'est ici la bonne continuité qui permet d'inférer la présence d'un objet unique et cohérent. Par ailleurs, Giffen Van et Haith (1984) cité par Quinn et ses collègues (1997) ont aussi montré que des enfants de 3 mois peuvent détecter la présence d'un élément introduisant une rupture dans la bonne continuité assurée par l'orientation des autres éléments dans une scène visuelle. Ils ont présenté à des enfants de 1 et 3 mois un ensemble de tirets, organisé sous forme circulaire ou sous forme de carré. Dans une condition, un tiret était orienté différemment. Les résultats montrent que les enfants de 3 mois fixent ce tiret incohérent. Ce résultat montre qu'à cet âge, mais pas avant, les enfants sont déjà sensibles à la bonne continuité d'éléments dans une scène visuelle.

Quinn, Brown et Streppa (1997) ont aussi étudié l'aptitude des enfants à se servir de la bonne continuité dans l'analyse d'une scène visuelle complexe mais avec un principe légèrement différent. Ils ont proposé des figures encadrées à des enfants de 3 et 4 mois (Expérience 2). Un stimulus encadré composé d'un carré et d'un cercle est présenté au groupe expérimental en phase d'habituation mais pas au groupe contrôle. En phase test, deux stimuli sont présentés : un cercle complet et un cercle déformé dont il manque un morceau correspondant à la partie sur laquelle le carré se superposait pendant l'habituation. Il peut aussi s'agir d'un carré complet ou non. Les résultats apportent des arguments en faveur de l'aptitude des enfants à utiliser la propriété de bonne continuité pour percevoir le carré et le triangle malgré la superposition. En effet, les enfants du groupe expérimental présentent une préférence pour les figures incomplètes ce qui témoigne de leur habitude préalable à des stimuli perçus comme complets.

Tout récemment, Quinn et Baht (2005) se sont intéressés au principe de bonne continuité chez des enfants de 3-4 mois et 6-7 mois. Les stimuli sont un carré, un losange et des cercles. La cible (carré et losange) est intercalée dans une suite de cercles disposés (in-line) en ligne oblique, ou bien en dehors de cette ligne (off-line) (voir Figure 41). Les enfants sont repartis en deux groupes, l'un familiarisé avec les stimuli « off-line », l'autre avec les stimuli « in-line ». Dans la phase test, la scène visuelle familière est présentée en concurrence avec une autre scène construite de la même façon mais avec

une autre cible. Les temps de fixation pour chacune de ces deux scènes sont mesurés. La configuration des résultats des deux groupes est la même. Les enfants ne manifestent une préférence pour la cible nouvelle que s'ils sont testés avec l'alignement de cercles non interrompus. Ils sont donc sensibles à la bonne continuité dans ce type de dispositif dès 3-4 mois.

En somme, Il existe un ensemble de données attestant l'utilisation précoce de la loi gestaltiste de bonne continuité, même si l'ensemble des données souffre quand même d'une certaine hétérogénéité. Les recherches montrent une certaine précocité de la prise en compte du principe gestaltiste de bonne continuité, généralement avant 1 an. Toutefois, une certaine controverse persiste pour sa précocité : dès 3-4 mois pour certains auteurs (Ghim, 1990 ; Giffen, & Haith, 1984 ; Quinn, & al, 1997 ; Quinn & Baht, 2005) entre 7 et 12 mois pour d'autres (Kellman, 1996 ; Spelke, 1985 ; Spelke, 1990 ; Spelke, & al., 1993).

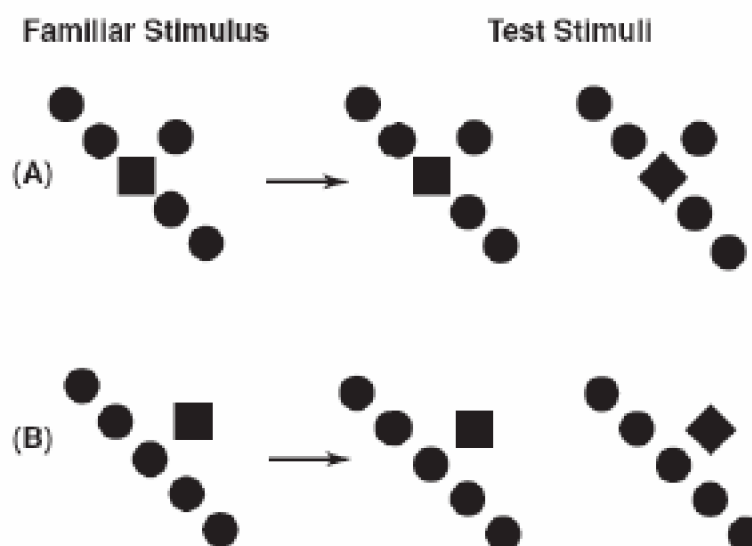


Figure 41. Exemples de stimuli utilisés dans l'expérience de Quinn (2005)

1.4. Influence de fermeture pour percevoir une unité chez l'enfant

La loi de fermeture (*closure*, ou fermeture) postule qu'une forme fermée est plus facilement identifiée comme un objet unitaire qu'une forme ouverte. La fermeture jouerait un rôle très important dans la détermination des contours. Il est toutefois difficile de mettre en évidence sa prise en compte, de manière isolée chez les bébés, Gerhardstein, Kovacs, Ditre et Feher (2004) ont montré que des bébés sont sensibles à la bonne continuité dès 3 mois, mais qu'ils restent encore insensibles à la propriété de fermeture. De même, il n'est pas certain que la fermeture ait participé à la perception de forme dans l'expérience de Quinn et ses collègues. (1997) décrite plus haut chez des enfants de 3-4 mois, la bonne continuité a peut-être à elle seule permis cette perception. Des indices de

sensibilité à la fermeture ont par contre été relevés pendant la période pré-scolaire. Enns et Girgus (1985, cités par Hadad & Kimchi, 2006) ont notamment montré une sensibilité des enfants à ce principe dès 2 ans, dans une tâche de reconnaissance de contours illusoires. Les données d'Abravanel (1982) nuancent toutefois l'intensité de cette sensibilité en montrant que seuls 60% des enfants de 3 ans parviennent à reconnaître une forme illusoire fermée à partir de contours partiels (figures inspirées de Kanisza), alors que 100% des enfants réussissent à 5 ans.

Plus récemment, Hadad et Kimchi (2006) se sont directement intéressés à l'influence de la fermeture dans des tâches de recherche visuelle chez des enfants de 5, 10 ans et de jeunes adultes. Comme illustré en Figure 42, la cible à rechercher dans l'Expérience 1 est une figure concave parmi des distracteurs convexes. La cible et les distracteurs sont soit des figures fermées, soit ouvertes. L'augmentation du temps de réponse avec le nombre de distracteurs est importante pour la recherche d'une cible ouverte parmi des distracteurs ouverts, ce qui témoigne d'une faible efficacité de la recherche qui s'améliore toutefois entre 5 ans et l'âge adulte. Par contre, si les figures sont fermées, l'augmentation des temps de réponse en fonction des distracteurs est faible, ce qui traduit une recherche efficace, aussi bien à 5 ans qu'à 10 ans et à l'âge adulte. Ces données suggèrent donc une influence majeure de la fermeture sur la perception des formes dès l'âge de 5 ans.

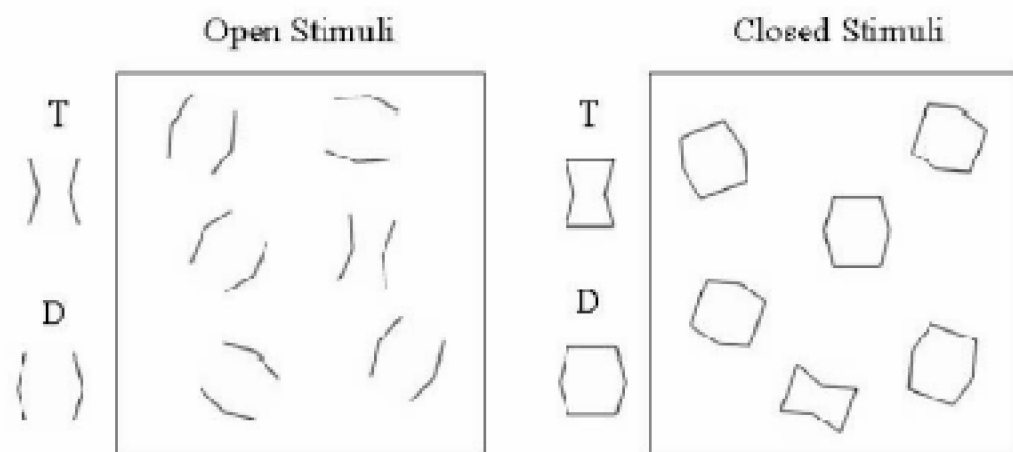


Figure 42. Exemples de stimuli utilisés dans l'Expérience 1 (Hadad & Kimchi, 2006)

La fermeture ne doit pas nécessairement être physiquement présente pour faciliter le traitement d'une forme comme une unité. La fragmentation des contours d'une figure fermée affecte son traitement mais n'empêche pas d'inférer la fermeture. Les expériences avec stimuli inspirés de Kanisza le suggèrent. En outre, l'Expérience 2 de Hadad et Kimchi (2006) précise les conditions de la perception d'une fermeture virtuelle chez l'enfant. Dans cette épreuve de recherche visuelle d'une forme concave parmi des distracteurs convexes, la fermeture n'est pas physiquement présente parce que les segments sont discontinus, mais elle peut être déduite de la disposition des fragments du contour (voir Figure 43). Ces chercheurs ont fait varier deux facteurs : la distance séparant les segments et l'emplacement des ruptures dans la continuité du tracé (elles

préservent ou non la colinéarité). Les performances des enfants de 5 ans montrent que les indices de fermeture sont encore assez difficiles à partir de cet âge. À 5 ans, seule la proximité des segments influence vraiment les performances, que ces segments soient colinéaires ou non. Les performances s'améliorent fortement entre 5 et 10 ans et, les enfants tirent de mieux en mieux partie de la colinéarité qui peut même, à 10 ans, compenser l'éloignement des segments et améliorer la perception des figures fermées. Ces données montrent en tout cas que le développement de la prise en compte de différentes propriétés de relation spatiale n'est pas uniforme.

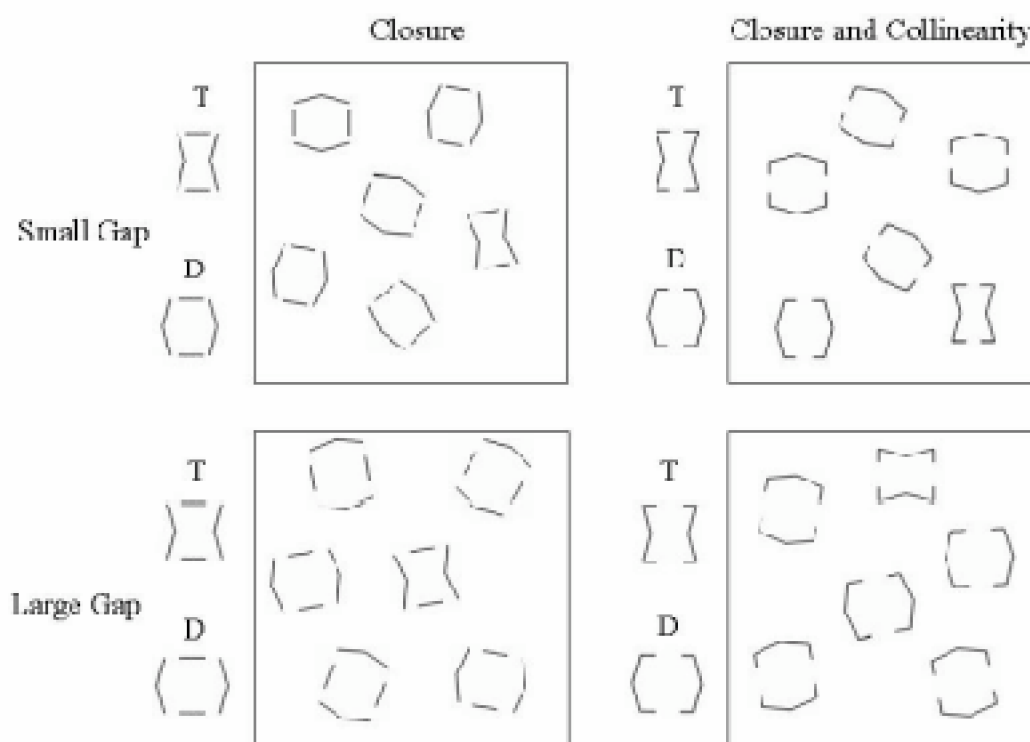


Figure 43. Exemples de stimuli utilisés dans l'Expérience 2 (Hadad & Kimchi, 2006)

1.4. Rôle de la proximité et de la connectivité des éléments

Le rôle des propriétés de proximité et de connectivité chez l'enfant est généralement étudié en évaluant s'il lui est possible de percevoir un objet comme une unité même si ses contours sont fragmentés (absence de connectivité) et si les fragments sont spatialement éloignés (faible proximité). Dans l'ensemble, la perception des contours de tels stimuli est difficile, et les capacités à réaliser ce traitement se développent jusqu'à l'adolescence.

Les recherches sur le comptage d'objets chez l'enfant, montrent que l'augmentation de la proximité entre certains objets à dénombrer, entraîne l'augmentation des erreurs chez les enfants de moins de 5 ans (Fuson, 1988, cité par Towse & Hitch, 1996). Cet effet montre que ces jeunes sujets sont sensibles à la proximité pour grouper les éléments, et l'impact de ce principe gestaltiste a été répliqué chez des enfants de 7 et 8 ans par Towse

et Hitch (1996). Les travaux de Hadad et Kimchi cités plus haut (Expérience 2) montrent l'effet bénéfique de la proximité sur la recherche de stimuli visuels surtout vers 5 ans. Burack, Enns, Iarocci et Randolph (2000) ont comparé l'effet de proximité sur le groupement chez des enfants de 6, 8, 10 ans et de jeunes adultes. Les stimuli de l'expérience étaient un ensemble de points (noirs et blancs) alignés et présentés de manière soit oblique (cibles) soit verticale (distracteurs). La distance entre ces points était soit de 0.30° (*short-range*) soit 0.75° (*long-range*). La tâche des participants consistait à chercher la cible parmi un ensemble de distracteurs (1, 7 ou 17) dans des situations *short-range* ou *long-range*. Les résultats montrent que dans la situation de grande proximité entre les points (*short-range*), tous les participants obtiennent de meilleures performances, et ceci indépendamment du nombre de distracteurs ce qui témoigne d'un traitement automatique. En revanche, dans la condition *long-range*, les enfants de 6 ans sont sérieusement plus ralentis que ceux de 8, 10 ans et les jeunes adultes. À 8, 10 ans, les enfants obtiennent des performances identiques à celles des adultes. La différence de performance entre enfants de 6 ans les autres groupes a conduit les auteurs à formuler l'hypothèse de rythmes différents pour ces deux types de groupements. Le groupement *short-range* implique un traitement qui s'effectuerait de manière pré-attentionnelle alors que le groupement *long-range* implique un traitement plus complexe faisant intervenir l'attention et ceci plus particulièrement chez les jeunes enfants. La capacité à réaliser certains groupements automatiques requiert donc une certaine maturité (Burack Enns, Iarocci & Randolph., 2000).

Dans une recherche récente, Gerhardstein, Kovacs, Ditte et Feher (2004) ont utilisé des stimuli de Gabor (*Gabor-based stimuli*) déconnectés pour étudier la détection des contours malgré la fragmentation chez des enfants de 3 mois. La figure présentée est fermée ou ouverte. L'expérience comporte une phase d'entraînement et une phase test d'une durée de 15 minutes chacune. Les stimuli présentés en phase test sont soit les mêmes que ceux de la phase d'entraînement (condition de base), soit différents au niveau des contours et de la densité. Les mesures ont porté sur le nombre de coups de pieds donnés par l'enfant par minute. Les résultats ne montrent pas de capacité des enfants à détecter la continuité des contours et la fermeture à cet âge. La prise en compte de la propriété de fermeture à 3 mois si les contours de l'objet sont représentés par des points déconnectés. Les auteurs attribuent cette incapacité à une immaturité des aires visuelles de bas niveau (V1) et de haut niveau (partie latérale du cortex occipital), s structures impliquées dans le codage des contours (Gerhardstein, Kovacs, Ditte, & Feher, 2004). Cette aptitude connaît un développement considérable entre 5 et 14 ans. L'utilisation d'une tâche d'intégration de contours avec les stimuli de Gabor a permis à Kovacs (2000) de montrer des différences de performances dans l'intégration de contours entre ces deux âges, selon la complexité de la scène visuelle. Les sujets de 13 et 14 ans parviennent à détecter les contours même dans les situations difficiles. En revanche, les enfants de 5 et 6 ans échouent. Une diminution de la difficulté de la tâche, avec possibilité de détecter le contour en s'appuyant sur la grande densité des stimuli de Gabor, s'accompagne cependant d'une amélioration des performances des enfants de 5 – 6-ans. En somme, ces résultats montrent que les enfants éprouvent ici des difficultés à déterminer les contours lorsque la densité des éléments qui le constituent est faible : les enfants sont perturbés par la distance qui sépare les éléments. L'intégration des éléments en un

contour semble s'effectuer très lentement chez ces enfants. Des travaux en neuroanatomie relient l'amélioration progressive des performances des enfants dans cette tâche au développement des couches 2 et 3 au niveau du cortex visuel primaire et des connexions entre les aires V1 et V2 qui arrivent à maturité à l'adolescence (Kaldy, & Kovacs 2003 ; Quinn, & al., 2004). Mais quel est l'impact de ce processus d'intégration lorsque l'unité est constituée de deux configurations?

Dans la synthèse proposée dans le chapitre « traitement d'un tout et de ses parties », nous avons vu que la rapidité de prise en compte des relations spatiales entre des composantes permet de repérer la présence d'une forme complète qui attirerait l'attention. Pour ce qui est du développement, nous venons d'exposer le débat encore ouvert à propos des difficultés de l'enfant de moins de 6 mois à s'appuyer sur ces caractéristiques des scènes pour percevoir des objets complets et cohérents, en particulier lorsque l'environnement est statique. En effet, l'utilisation des lois gestaltistes de bonne continuité, de similarité, de proximité et même de fermeture ne sont vraiment opérationnelles qu'après 6 mois (Kellman, 1996 ; Spelke, 1985, Spelke, & al., 1993).

Un autre aspect du traitement de la totalité est appelé traitement global. Il s'oppose directement au traitement local d'un objet analysable en niveaux de complexités hiérarchisés, mais comme la forme de l'objet au niveau global existe généralement grâce aux inter-relations, il est difficile d'en parler indépendamment de l'impact de propriétés configurales. C'était le sens de cette première partie du chapitre 2, qui se voulait cependant peu exhaustive.

Certains concepts et expressions sont utilisés aussi bien pour les recherches sur le traitement configural et sur le traitement global / local des objets : c'est le cas par exemple des concepts de segmentation et d'intégration (Tada & Stiles, 1996) évoqués pour caractériser ces deux modes de traitement chez l'enfant. Tout comme chez l'adulte, les travaux effectués chez l'enfant s'intéressent aussi à l'étude de l'effet de l'avantage du niveau global sur le niveau local.

2. Développement des traitements global et local chez l'enfant

Comme l'étude du traitement global/local de l'information visuelle chez l'adulte, l'approche de ces modes de traitement chez l'enfant accorde une place croissante au développement de certaines capacités attentionnelles. Plusieurs travaux contribuent aujourd'hui à défendre l'idée d'un développement dissocié des capacités de traitement global et local, l'un et l'autre suivant un décours temporel différent. Nous verrons que ce qui semble surtout différencier la mise en place de ces modes de traitement est la vitesse à laquelle ils s'affranchissent progressivement de la complexité imposée par la situation, ce qui suggère que les capacités attentionnelles requises pour chaque niveau différent et se développent à des rythmes distincts.

2.1. Travaux chez les bébés

La plupart des recherches sur le développement des traitements local et global de l'information visuelle est consacrée à la dominance d'un niveau de la hiérarchie sur l'autre. Les premiers travaux sur cette question ont contribué à décrire le traitement visuel du jeune enfant comme essentiellement global et progressant vers une prise en compte croissante des éléments locaux. Dans cette perspective, l'enfant passerait d'un mode de perception holistique à un mode de traitement plus différencié. Toutefois, le point de vue inverse est aussi défendu dans certains travaux. Nous verrons qu'à partir du milieu des années « 80 », des données ont permis de montrer que de très jeunes enfants sont en fait déjà capables, dans certaines conditions, de porter attention à une totalité aussi bien qu'à ses parties, et que la relation entre ces deux aspects ne leur est pas non plus inaccessible.

2.1.1. Traitements global/local chez les bébés et fréquences spatiales

A partir de l'analyse des mouvements oculaires de nourrissons, les recherches de Fantz (1961, cité par Porporino, Shore, Iarocci, & Burack, 2004) révélaient déjà que ceux-ci fixent d'abord le contour d'un dessin, l'intérêt pour les détails intérieurs ne se produisant qu'ensuite. Les deux méthodes classiques permettant d'étudier l'attention perceptive du bébé (la méthode de Fantz et celle fondée sur l'habituation) ont, par la suite, apporté des arguments supplémentaires concernant la sensibilité des tout-petits à la forme globale d'objets contenant des informations également au niveau des détails.

Rappelons rapidement que la méthode fondée sur l'habituation se décline en deux phases : pendant la familiarisation, une configuration perceptive est présentée plusieurs fois au bébé et ses réponses (rythme de succion, durée de fixation du regard, rythme cardiaque ou respiratoire...) à ces stimulations décroissent généralement avec les répétitions, ce qui témoigne d'une habituation (et donc d'un apprentissage) et peut-être aussi d'une lassitude liée à un changement d'état de vigilance. Dans la deuxième phase, le bébé est soumis à une présentation supplémentaire de la configuration dont on a fait varier un aspect ou qui reste la même. L'augmentation des réponses du bébé à la survenue du stimulus modifié est une réaction à la nouveauté. Si cette réaction est plus forte pour la configuration modifiée, elle témoigne de deux capacités : l'enfant a perçu la similarité lors de la phase d'habituation (et n'a pas simplement subi une baisse de vigilance progressive) et il a perçu la différence concernant l'aspect modifié entre les stimuli de l'une et l'autre phases. La méthode de Fantz consiste plus simplement à observer si le bébé manifeste un choix préférentiel systématique entre deux configurations présentées simultanément. Pour cela, l'orientation du regard, celle de la tête, les mouvements des membres ou la torsion de la bouche sont par exemple mesurés.

Chez des enfants de 3 à 4 mois, un ensemble de travaux montre qu'une courte durée de familiarisation permet de discriminer un nouveau stimulus qui diffère des précédents au niveau global, alors qu'une familiarisation plus longue s'impose pour permettre une discrimination basée sur une différence au niveau local (Colombo, Mitchell, Coldren, & Freesean, 1991 ; Freesean, Colombo, & Coldren, 1993 ; Frick, Colombo, & Allen,

2000). Il est par ailleurs aussi question d'une préférence des nourrissons pour le traitement de la forme globale d'une image plutôt que pour ses détails. Courage et Adams (1990) ont mis en lien cette préférence avec celle que les bébés manifestent pour les stimuli visuels présentant de basses fréquences spatiales (alternance plus ou moins rapprochée de bandes blanches et noires). Avec la technique de la préférence visuelle, ils ont montré que des bébés de 1 mois préfèrent les stimuli dotés de basses fréquences spatiales. Même si cela a été discuté ou relativisé chez l'adulte, le contenu d'information en basses fréquences spatiales semble crucial pour le traitement global chez les tout-petits : Cassia, Simion, Milani et Umiltà (2002) ont notamment montré un effet de supériorité du niveau global chez des nouveaux-nés, à condition que le stimulus contienne beaucoup de fréquences spatiales basses.

La rapidité avec laquelle la sensibilité au contraste pour les hautes fréquences spatiales va se développer pendant l'enfance permet tout de même d'envisager que le développement précoce des capacités visuo-spatiales du jeune enfant sera surtout marqué par des progrès dans le traitement des détails. En effet, Adams et Courage (2002) ont mis au point un test qui évalue la sensibilité au contraste : il fournit des indications sur le développement de l'acuité visuelle et sur le contraste minimal pour que des objets de différentes tailles soient détectés, ce qui est lié aux fréquences spatiales. Ces auteurs confirment tout d'abord que la sensibilité au contraste est nettement plus faible pour de hautes fréquences spatiales que pour de basses fréquences spatiales à 1 mois. Surtout, ils décrivent une amélioration très nette de cette sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales élevées entre 1 et 4 ans, alors que, pour les fréquences spatiales basses, les progrès sont faibles pendant cette période et plus nets seulement entre 7 et 9 ans. D'après ce test, la sensibilité au contraste ne diffère plus entre les fréquences spatiales hautes et basses à 9 ans, âge où elle atteint le même seuil que celui des adultes. En d'autres termes, la sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales élevées, importante pour traiter les détails, est faible chez le jeune enfant, ce qui est cohérent avec ses difficultés et sa moindre préférence pour les détails. Toutefois, cette sensibilité au contraste pour de hautes fréquences spatiales s'améliore si vite qu'elle devient proche de celle de l'adulte dès 4 ans, alors qu'à cette période, la sensibilité au contraste en cas de basses fréquences spatiales, importantes pour traiter l'aspect global, n'a pas entamé sa principale phase de développement pour atteindre la maturité. Dans l'ensemble, à cause de ces contraintes visuelles de bas niveau, le traitement des détails devrait donc être difficile chez le tout-petit, mais la maturation particulièrement rapide de la sensibilité au contraste en présence de hautes fréquences spatiales permet aussi de s'attendre à des performances soudainement plus favorables aux détails pendant une période de l'enfance.

2.1.2. Indices de prise en compte des niveaux global et local, de la naissant à 4 mois

Dans la description de travaux chez l'adulte, nous avons vu que la différence entre le traitement des niveaux global et local ne se réduit pas à l'opposition entre les fréquences spatiales basses et hautes. L'opposition entre ces deux niveaux se définit aussi par un critère d'organisation de structures spatiales. Posée en ces termes, l'étude de cette

opposition chez le bébé requiert des aménagements permettant de s'affranchir, autant que possible, des contraintes liées à l'immaturité de ses seules capacités sensorielles. Lorsque le matériel proposé au bébé est aménagé pour être adapté à ses compétences visuelles de bas niveau, et notamment à son acuité, le traitement du niveau local des objets, comme celui de leur niveau global, paraît tout de même possible. Les deux niveaux de hiérarchie d'un objet visuel complexe pourraient donc, dans une certaine mesure, être appréhendés par le bébé.

Les travaux de Cohen et Younger (1984) montrent par exemple que, si les stimuli visuels complexes proposés sont adaptés à l'acuité immature du bébé, il est possible de montrer dès 1 mois et demi une certaine sensibilité au changement au niveau local. Pour cela, ces chercheurs ont familiarisé des bébés avec des stimuli de grande taille, couvrant 45 à 135° d'angle visuel : deux lignes rejointes à l'une de leurs extrémités et formant donc un angle. Après cette première phase, la figure test pouvait être soit identique à celle présentée lors de la familiarisation, soit différente. Deux types de modifications ont été testées : a/ soit la forme d'ensemble était la même, avec conservation de l'angle et simple rotation de l'ensemble, les segments changeant cependant alors d'orientation, b/ soit l'orientation de chaque segment individuel était maintenue, mais l'un et l'autre étaient combinés d'une nouvelle façon pour former un angle globalement différent. Les auteurs dissociaient ainsi une modification au niveau local (a) et une modification au niveau global (b). Notons que nous avons ici un exemple de recherche où l'opposition entre les niveaux (local/global) est assimilée à l'opposition entre traits et propriétés relationnelles (traits/configuration). Les résultats sont intéressants car ils montrent dès 1 mois et demi la sensibilité des bébés à un changement des seuls segments, interprétée comme une capacité de discrimination au niveau local, alors qu'il faut attendre l'âge de 3 mois pour qu'ils manifestent une sensibilité au changement global de l'angle, lequel est relatif aux relations spatiales entre les traits et implique véritablement un processus d'intégration. Ce résultat permet de relativiser l'idée d'une incapacité du bébé d'un mois et demi à traiter les aspects locaux des scènes visuelles, pour peu que ceux-ci soient adaptés, notamment pour leur taille, à son immaturité sensorielle.

Il semble cependant prudent de se garder d'interpréter ce résultat comme le reflet d'une incapacité à prendre en compte l'aspect global. D'autres auteurs montrent en effet qu'il est possible de mettre en place des conditions favorables à la prise en compte de ce niveau par le bébé. Par exemple, Slater (1991) a mis en évidence chez des nouveaux-nés une sensibilité au changement des angles plutôt qu'à l'orientation des segments qui le forment, en pratiquant une phase d'habituation à partir de stimuli d'orientations variées, ce qui favorise vraisemblablement la création d'une catégorie pour cet angle global. En utilisant des stimuli hiérarchisés plus classiques, Vurpillot, Ruel et Castrec (1977) ont aussi montré que des bébés de 2 à 4 mois perçoivent des différences au niveau de formes globales composées d'éléments locaux, à condition que ces derniers soient suffisamment petits, car leur agrandissement s'accompagne d'une disparition de cet effet au profit d'une sensibilité aux seuls changements du niveau local. Aussi, comme chez l'adulte, les caractéristiques de la situation expérimentale tout comme les propriétés physiques des stimuli modulent les manifestations de la sensibilité des bébés à l'un ou l'autre niveau de complexité de stimuli visuels.

Comme nous l'avons vu précédemment à travers des travaux chez l'adulte, il convient sans doute de ne pas considérer le niveau global tout à fait indépendamment de la complexité des relations spatiales et propriétés configurales qui l'organisent. Chez des bébés de 3-4 mois, Ghim et Eimas (1988, Expérience 1) ont relevé des d'indices d'une sensibilité à des changements au niveau local comme au niveau global et ce résultat est, à cet égard, particulièrement intéressant, car les mêmes formes sont utilisées pour construire les stimuli hiérarchisés aux deux niveaux, ce qui équilibre, au moins en partie, la complexité configurale entre ces niveaux. Dans ces conditions, la sensibilité des bébés aux niveaux global et local peut plus facilement être interprétée comme liée à l'organisation hiérarchique des stimuli complexes. Enfin, s'il s'agit de fixer des limites en termes d'âge en s'intéressant cette fois à des configurations globales plus complexes, mais aussi plus proches de celles des objets de l'environnement, les travaux de Younger et Cohen (1986) peuvent être évoqués. Les configurations auxquelles ils s'intéressent sont en effet celles qui articulent les différentes parties du corps d'un animal dessiné. Il s'avère qu'après une phase d'habituation, les enfants de 7 à 10 mois sont devenus sensibles au changement de cette configuration générale, malgré la préservation de la forme des parties. En effet, après avoir familiarisé des enfants avec deux dessins d'animaux, ces auteurs ont montré que, parmi les stimuli présentés ensuite en phase test, les dessins nouveaux consistant en une chimère combinant les éléments des deux dessins familiers suscitaient des temps de fixation plus courts chez les enfants de 4 mois que chez ceux de 7 ou 10 mois, alors que tous fixaient longuement des dessins totalement nouveaux. Les auteurs interprètent ces résultats comme reflétant l'amélioration, entre 4 et 7 mois, d'une capacité à considérer la forme globale en s'appuyant sur des relations spatiales ici très complexes entre les éléments.

Au final, il semble donc que le système visuel du bébé de quelques mois soit déjà suffisamment sophistiqué pour permettre le traitement de deux niveaux de complexité de certains stimuli visuels. Les compétences fonctionnelles pour les deux modes de traitement global et local seraient donc présentes, malgré une grande vulnérabilité aux conditions de présentation et aux caractéristiques physiques (taille, complexité) des stimuli.

Au-delà de ces potentialités, certaines données montrent toutefois une dominance du niveau global sur le niveau local chez le bébé : il s'agirait d'une dominance de ce niveau global en termes d'attractivité. Après avoir familiarisé des bébés de 3 – 4 mois avec un stimulus hiérarchisé (e.g., un grand carré formé de petits losanges), Ghim et Eimas (1988, Expérience 2) ont pu le montrer en observant que la sensibilité de l'enfant au changement au niveau global est ensuite si forte qu'elle n'est pas modulée par le fait que le nouveau stimulus soit également différent au niveau local. Par contre, entre deux stimuli nouveaux au niveau local, le bébé préfère celui qui diffère en plus au niveau global. Cette expérience propose une astucieuse adaptation aux bébés des outils permettant d'évaluer l'asymétrie des effets d'interférence, et montre que le niveau global, sans être le seul traité, bénéficie dès 3 mois d'une certaine préférence qui rappelle le phénomène d'avantage du niveau global décrit chez l'adulte.

2.1.3. La question des différences individuelles : opposition short-looker et

long-looker

La question du traitement global et local chez des enfants dès 3-4 mois a également fait l'objet de travaux centrés sur des différences individuelles. Une distinction a été proposée entre des bébés dits *long-looker* (LL) ou *short-looker* (SL). Ces derniers s'illustrent par une tendance à inspecter une image très rapidement. Trois explications ont été proposées pour ce phénomène.

Il a d'abord été proposé que les SL s'attardaient moins sur l'information visuelle grâce à un traitement particulièrement rapide et/ou efficace de l'information sur les détails. Cette interprétation a cependant été démentie par Colombo, Mitchell, Coldren et Freeseaman (1991), qui montrèrent que ces enfants se caractérisent moins par un style de traitement favorisant l'un ou l'autre niveau, que par une plus grande rapidité et efficacité générale à traiter tout type d'information visuelle. Cette deuxième interprétation n'a cependant pas clos le débat, puisqu'une troisième proposition, inverse de la première, a aussi été faite. Selon cette dernière hypothèse, les enfants LL seraient atypiques à cause de leur tendance à traiter d'emblée les détails (une version forte suggérant même qu'ils les traiteraient particulièrement efficacement), alors que l'efficacité des enfants SL s'expliquerait par la prise en compte préalable de l'aspect global. Par rapport à cette dernière interprétation, les données sont encore mitigées.

Certains éléments vont à l'encontre d'une version forte de cette dernière interprétation, puisqu'ils montrent chez les enfants LL un même ralentissement pour les traitements global et local. Par exemple, en familiarisant des enfants de 4 mois avec un stimulus hiérarchisé (grand losange ou grand sablier, constitués de lettres N ou Z au niveau local) puis en testant leur préférence pour la nouveauté avec des stimuli qui diffèrent soit au niveau global soit au niveau local, Freeseaman, Colombo et Coldren (1993) ont montré que les enfants LL se distinguent essentiellement par la nécessité d'une plus longue familiarisation (40 secondes plutôt que 10 secondes) pour atteindre un niveau de performance équivalent à celui des SL pour le niveau global. Ils ne sont pas pour autant plus efficaces pour manifester leur sensibilité à la nouveauté au niveau local : celle-ci est mise en évidence dès 20-30 secondes de familiarisation chez les SL, mais 40 secondes de familiarisation ne suffisent toujours pas aux LL pour être ensuite sensibles aux différences locales. Les auteurs concluent qu'il n'est donc pas évident que la moins bonne efficacité visuelle des enfants LL repose sur un privilège accordé à l'information locale. En rapprochant ces données de celles de Colombo, Mitchell et Freeseaman (1991), il semble en fait que la nécessité d'allonger la familiarisation des enfants LL pour qu'ils manifestent une sensibilité à la nouveauté corresponde à peu près à la même proportion pour l'un et l'autre niveaux. En effet, Colombo et ses collègues ont montré que 45 secondes de familiarisation permettent à des enfants LL de donner des signes de discrimination de l'information au niveau local alors que 15 secondes suffisent pour cela à des SL, ce qui ne traduit finalement pas de différence entre les ralentissements pour la familiarisation au niveau local et au niveau global, comme le soulignent aussi Freeseaman et ses collègues (1993).

L'interprétation de la particularité des enfants LL par une tendance à accorder plus d'importance aux éléments locaux a aussi été testée à travers l'effet de dominance du niveau global. Frick, Colombo et Allen (2000) sont les premiers à avoir relaté cet effet

avec des lettres hiérarchisées chez les enfants dès 3 mois. Alors qu'ils détectent aussi bien les différences au niveau global qu'au niveau local dans des stimuli nouveaux présentés après une familiarisation de 30 secondes, une familiarisation de seulement 20 secondes laisse apparaître chez les SL de meilleures performances pour le niveau global en phase test. Or, il se trouve que les enfants LL présentent aussi, à leur échelle, une sensibilité plus précoce au changement du niveau global : après une familiarisation de 30 secondes, ils manifestent une sensibilité au changement global mais toujours pas au niveau local. Ce résultat n'apporte donc pas d'argument favorable à l'hypothèse d'une sensibilité aux détails particulièrement bonne ou précoce, à l'origine du traitement particulièrement long réalisé par les enfants LL sur les scènes visuelles.

Au final, à notre connaissance, il reste tout de même un résultat favorable à l'hypothèse d'un style de traitement visuel qualitativement différent chez les enfants LL, caractérisé par une certaine forme de dominance du niveau local sur le niveau global, et cela permet de ne pas complètement écarter cette hypothèse. Après avoir confirmé chez ces enfants la nécessité d'une familiarisation particulièrement longue pour discriminer ensuite un stimulus selon des critères situés au niveau global comme au niveau local, Colombo, Freese, Coldren et Frick (1995) ont montré que, lorsqu'une préférence pour un niveau apparaît chez eux, après une durée de familiarisation qui leur est adaptée, elle s'exprime au profit des attributs locaux. Les bébés de 4 mois étaient par exemple familiarisés avec un grand losange constitué de lettres N. La phase test évaluait si leur attention était ensuite plus attirée par l'un des deux nouveaux stimuli hiérarchisés proposés simultanément, l'un présentant une nouveauté seulement au niveau global, l'autre porteur d'une nouveauté uniquement au niveau local. Les données ont montré que l'attention des enfants SL est davantage retenue par le stimulus présentant une différence au niveau global, mais l'inverse se produit pour les enfants LL. Les auteurs reconnaissent tout à fait l'effet de précédence de sensibilité au changement au niveau global observée par d'autres auteurs chez les enfants LL comme chez les autres. Il semble toutefois que, tout en étant eux aussi plus sensibles à l'information globale qu'à l'information locale, les enfants LL se caractérisent par une attention particulièrement attirée par les détails et rapidement mobilisée pour les explorer. Tout se passe comme s'ils préféraient le mode de traitement local qui, en ce sens, serait chez eux dominant. Ces enfants se démarqueraient moins par une différence de sensibilité à l'information située à un certain niveau que par une différence qualitative dans ce qui retient leur attention : cette recherche met donc en avant l'importance de l'attention pour rendre compte des rapports entre traitements local et global chez de jeunes enfants.

En bref, chez les bébés, une plus grande sensibilité au niveau global de l'information visuelle est généralement observée, mais ce qui attire préférentiellement l'attention n'est peut-être pas toujours systématiquement cet aspect et, à l'issue de certaines observations, un lien a été suggéré entre un ralentissement général des traitements visuels (*long-looking*) et une attraction particulière de l'attention par les détails qui se traduit par un privilège accordé au traitement des aspects locaux de l'objet.

2. 2. Travaux chez les enfants à partir de 3 ans

A partir de 3 ans, la question n'est plus de savoir si une analyse du stimulus est possible à l'un ou l'autre niveau. Les résultats d'expériences proposant des tâches appropriées à leur jeune âge témoignent de leur capacité à prêter attention aussi bien à l'information globale qu'aux détails. Il s'agit plutôt, comme le soulignent Dukette et Stiles (2001), de comprendre les différences qualitatives entre les traitements opérés par les adultes et les enfants, car la persistance de différences subtiles permet d'envisager un prolongement du développement de ces capacités jusqu'à l'adolescence.

2.2.1. Capacité à porter l'attention sur l'un ou l'autre niveau

Les capacités du jeune enfant à porter son attention sur l'un ou l'autre niveau ont fait l'objet de plusieurs études dans la deuxième partie des années « 70 ». Une aptitude précoce à intégrer l'information venant de plusieurs détails ou dimensions et à les percevoir comme combinés a ainsi été décrite, notamment lorsque l'enfant de moins de 6 ans doit catégoriser des objets (Smith, 1979 ; Smith & Kemler, 1977). Il fait par ailleurs aussi preuve d'une compétence à segmenter un stimulus, en particulier lorsque la tâche le conduit à se baser sur des différences de détails dans des tâches de discrimination (Murray & Lee, 1977). Le type de tâche semble donc déterminant pour que l'enfant mobilise plutôt l'une ou l'autre compétence.

Selon l'hypothèse de la séparabilité croissante (*separability hypothesis*) soutenue par Shepp (1978), les enfants de moins de 8 ans auraient une tendance générale à percevoir de manière intégrée des dimensions au contraire perçues comme séparées dans un objet chez l'adulte, ce qui les amènerait à classer les objets en catégories sur la base de leur similitude générale (malgré une similitude imparfaite pour chaque attribut), plutôt qu'en s'appuyant sur la ressemblance parfaite des objets sur une dimension comme le font les adultes. Pour reprendre un exemple utilisé par Smith (1979), devant un petit carré blanc, un grand carré gris et un petit carré noir, l'enfant classera ensemble le petit carré blanc et le grand carré gris : bien qu'ils ne partagent parfaitement aucune dimension, il les considère comme globalement plus similaires et c'est cela qui compte pour ses catégorisations. L'adulte rapprochera plutôt les deux carrés de petite taille, l'un blanc l'autre noir, car l'identité sur une dimension est pour lui ce qui prime. De telles observations ont conduit à considérer qu'entre l'enfance et l'âge adulte, une tendance à traiter les dimensions de manière indépendante sera amenée à se développer.

Il n'en demeure pas moins que la nature des dimensions manipulées, ainsi que leur saillance, déterminent fortement le mode de traitement plus ou moins distinctif ou intégratif opéré sur les traits, ceci dès 4 ans (Odom & Cook, 1984 ; Ward & Vela, 1986). Si l'information visuelle est à disposition suffisamment longtemps, Whiteside, Elkind et Golbeck (1976) ont aussi montré que l'attention d'enfants de moins de 6 ans peut se porter sur l'aspect global comme sur l'aspect local. Enfin, des chercheurs comme Smith (1979), qui testaient les critères de classification des enfants en leur demandant de compléter des groupes d'objets, ont insisté pour ne pas considérer le mode de regroupement opéré par les enfants comme moins organisé que celui des adultes, comme les travaux de Piaget l'exprimaient en qualifiant leurs classifications d'« illogiques » et de non structurées. La catégorisation d'objets réalisée par les enfants n'est ni plus pauvre, ni plus soumise au hasard que celle des adultes, elle est seulement

qualitativement différente et les rapprochements qu'ils opèrent entre les objets montrent qu'ils portent leur attention sur des relations entre différents attributs. Si leur mode de classification peut être qualifié de global ou d'holistique, ce n'est pas dans le sens de l'indifférentiation, puisqu'ils sont guidés par une évaluation de différentes ressemblances partielles sur des dimensions conçues comme distinctes (Kemler, 1983).

2.2.2. Capacité à articuler les informations issues des deux niveaux

Le débat s'est ensuite déplacé sur la possibilité pour l'enfant d'articuler les deux niveaux d'information.

Les expériences de Prather et Bacon (1986) ont apporté des résultats attestant de compétences plus élevées que celles jusqu'alors relatées à ce propos chez de très jeunes enfants, en proposant des situations expérimentales mieux adaptées au jeune public. Alors qu'il était admis que les enfants de l'école maternelle ne parvenaient pas à décrire à la fois l'aspect global et les parties d'un stimulus, ces auteurs ont montré qu'ils en sont parfois capables dès 3 ans, pour peu que les images soient assez simples. Il leur est donc possible de percevoir des aspects de niveaux différents dans un stimulus visuel complexe, si les demandes de l'épreuve ne sont pas trop élevées en termes de vocabulaire et de capacités métacognitives. La simplicité des stimuli utilisés par Prather et Bacon variait au niveau local selon que les éléments utilisés relevaient d'une même catégorie de base, d'une catégorie plus large ou de plusieurs catégories ; elle variait aussi au niveau global selon que tous les attributs nécessaires à la définition de l'objet étaient présents ou non. Par exemple, un stimulus simple aux deux niveaux était un triangle constitué de plusieurs carottes ; un stimulus complexe aux deux niveaux pouvait être un bonhomme représenté à l'aide de plusieurs exemplaires de la grande catégorie des fruits (une pomme pour la tête, une poire pour le corps, deux bananes pour les jambes, des grappes de groseilles pour les bras), sans que des éléments importants comme les traits du visage soient représentés. Avec ces stimuli, l'un et l'autre niveaux sont représentés par des objets familiers, identifiables. Avec les stimuli les plus simples aux deux niveaux, les enfants de 3 ans fournissent déjà des descriptions manifestant une compétence à percevoir à la fois un tout et ce à partir de quoi il est constitué, attestant de capacités de segmentation et d'intégration articulées. Ils le font d'autant plus qu'on les incite à le faire, mais décrivent déjà spontanément de cette manière 40% de ces stimuli hiérarchisés simples à 3 ans, et la proportion augmente à 4 et 5 ans. Les performances relevées ici témoignent d'une capacité à percevoir à la fois le tout et ses parties dans une même tâche. Comprenant ainsi la relation entre le tout et ses parties, l'enfant de 3 ans peut déjà combiner les deux niveaux d'analyse et donner un sens complet et cohérent aux objets complexes.

Les travaux de Tada et Stiles-Davis, (1989) aboutissent au même type de conclusion, mais à partir d'épreuves de copie de dessins très simple en présence du modèle : une figure composée de plusieurs segments, constituant une forme ouverte ou fermée. La différence de nature des erreurs des enfants selon cette dernière caractéristique (les traits dessinés par les enfants sont tordus dans les figures fermées, alors que des traits surnuméraires caractérisent la reproduction des figures ouvertes) témoigne d'une capacité à porter l'attention non seulement sur les petits segments qu'ils reproduisent,

mais aussi à la qualité de la forme générale (ouverte ou fermée) qui détermine la façon dont ils s'y prennent pour dessiner. Les deux niveaux d'analyse sont donc combinés et il apparaît que ces enfants peuvent donc s'intéresser à la relation entre le tout et ses parties, et ceci à 3 ans comme à 5 ans. D'autres recherches ont ensuite confirmé cette capacité précoce de l'enfant à réaliser une analyse spatiale visuelle, c'est-à-dire à prêter attention aux parties constituant un ensemble, ainsi qu'à la totalité formée, et à la relation entre les deux. Ces conclusions sont encore parfois tirées d'expériences demandant aux enfants de reproduire ou de reconstruire une forme à partir d'un modèle (Tada & Stiles, 1996). Ces tâches de construction décrivent des stratégies de reproductions différentes au fil du développement, avec toujours une extraction des traits, surtout de petits segments au début, mais une combinaison de ceux-ci selon des règles de plus en plus sophistiquées, permettant progressivement de dessiner et combiner des éléments de plus en plus grands et de moins en moins nombreux.

En utilisant cette fois, en complément, une tâche de choix forcé pour laquelle les demandes sont moindres au niveau moteur, Feeney et Stiles (1996) se concentrent davantage sur les analyses perceptives des enfants de 3 ans et demi à 5 ans. Devant un dessin représentant une forme géométrique ouverte (e.g., une croix, une sorte d'étoile à plusieurs branches...), l'enfant doit choisir entre trois ensembles de petits éléments celui qui ressemble le plus à la cible. L'un des ensembles proposés contient chacun des segments séparés (e.g., quatre petits traits, pour la croix), un autre contient le plus faible nombre de détails combinables pour permettre de reconstruire le modèle (e.g., deux grands segments) et le troisième ensemble est un intermédiaire (e.g., un grand segment et deux petits). Dans une deuxième expérience, les modèles proposés sont plus complexes et constituent parfois des figures fermées. Dans ces deux expériences, l'analyse des données montre que le développement de l'analyse des formes décrit précédemment à partir d'épreuves de construction est confirmé à partir d'une tâche plus purement perceptive. Par exemple, pour une croix, une première étape consiste à considérer qu'il s'agit de 4 petits traits indépendants qui se joignent en un point central, et la relation entre les parties à travers une intersection n'est perçue que plus tard, avec souvent une étape intermédiaire où l'enfant segmente l'objet en un grand trait (par exemple vertical) auquel il peut joindre ensuite deux petits segments latéraux. Au-delà de l'évolution de ces stratégies, les performances des enfants attestent, dès 3 ans et demi, leurs capacités à porter attention aux parties comme au tout, ainsi qu'à la relation entre les deux. La conformité des résultats entre les tâches impliquant construction et planification motrice et celles qui restent plus purement perceptives encourage à utiliser ces différents types de situations expérimentales pour comprendre le développement des capacités d'analyse visuelles des enfants.

2.2.3. Parallélisme et différence de rythme de développement des modes de traitement

Nous avons vu dans la chapitre 1 que les traitements opérés sur des stimuli visuels complexes reposent en partie sur des traitements pré-attentionnels, de bas niveau, avec notamment des opérations rapides de groupement faisant émerger des configurations qui attirent l'attention. Nous avons aussi vu que ces traitements sont modulés par des

mécanismes de plus haut niveau, en particulier des processus d'attention sélective et de contrôle de répartition des ressources pour le traitement de l'un et l'autre niveaux. Chez l'enfant aussi, ces composantes de bas et de haut niveaux s'articulent pour permettre le traitement des aspects global et local d'un objet. Ainsi, au-delà d'un certain avantage du niveau global chez le jeune enfant, sans doute en grande partie déterminé par des aspects de traitement élémentaires, il est possible de parler du traitement des niveaux hiérarchiques d'un objet chez l'enfant en évoquant le développement des mécanismes attentionnels. Dans cette perspective, et étant donné que les compétences attentionnelles se développent au cours de l'enfance, nous nous intéresserons au développement des capacités de l'attention à prendre en charge l'un et l'autre niveau d'analyse. Dès lors, il devient aussi envisageable que ces capacités attentionnelles diffèrent selon le niveau d'analyse.

Nous allons, dans un premier temps, faire état de travaux montrant que les rythmes de développement des compétences à traiter l'un et l'autre niveaux diffèrent. Dans la partie suivante, nous rassemblerons des arguments montrant que le traitement des niveaux hiérarchiques de l'objet peut être étudié en termes attentionnels chez l'enfant comme chez l'adulte. Les capacités de filtrage attentionnel jouant un rôle central lorsqu'un niveau est sélectionné, nous dirons quelques mots sur le développement général de ces capacités, pour s'orienter finalement vers l'idée de trajectoires développementales distinctes pour les mécanismes attentionnels associés à ces niveaux. Elles pourraient expliquer les différences de rythme de développement des compétences constatées préalablement pour les traitements global et local. Cela nous conduira à une hypothèse sur le développement différencié des capacités de filtrage attentionnel de l'information selon le niveau de la hiérarchie.

Même si l'enfant est capable très tôt d'appréhender l'information sur un mode global comme sur un mode local (Macchi Cassia, Simion, Milani, Umiltà, 2002 ; Prather & Bacon, 1986 ; Stiles, Delis, & Tada, 1991 ; Tada & Stiles, 1989), certaines données suggèrent que le développement des compétences à traiter l'information locale est rapide et atteint un palier assez vite, alors que les compétences à traiter l'information globale continuent à progresser lors de périodes plus tardives de l'enfance. Les expériences conduites par Dukette et Stiles (1996) auprès d'adultes et d'enfants de 4 et 6 ans apportent pour cela un premier argument. Lorsqu'il s'agit de désigner entre deux stimuli hiérarchisés (lettres hiérarchisées, Expérience 2 ; formes géométriques, Expérience 3) celui qui ressemble le plus à une cible, ces chercheuses ont tout d'abord relaté des configurations de résultats relativement similaires entre les trois groupes, avec notamment une tendance à s'appuyer davantage sur la ressemblance de la forme globale de deux objets plutôt que sur une ressemblance des détails. Malgré ce biais vers le niveau global, les auteurs ont constaté que si les stimuli étaient modifiés de façon à rendre l'intégration de l'information plus difficile au niveau global, en augmentant la dispersion des éléments locaux, l'avantage du niveau global reste présent chez les enfants de 6 ans et les adultes, mais s'annule chez les enfants de 4 ans. Ainsi, bien qu'à 4 ans les capacités d'intégration soient suffisantes pour qu'un effet de supériorité du global apparaisse, les mécanismes sous-tendant cet aspect des traitements spatiaux ne sont pas encore complètement matures et l'amoindrissement de la saillance de l'information au niveau global réduit nettement

l'attraction de l'attention par cette information chez les plus jeunes : ils progressent en tout cas pour cela entre 4 et 6 ans. En revanche, le fait de rendre plus difficile le traitement au niveau local, en augmentant la densité des détails, n'exerce pas un tel effet négatif.

Kimchi, Hadad, Behrmann et Palmer (2005) ont eux aussi confirmé que les enfants entre 5 et 14 ans s'améliorent beaucoup pour le traitement des niveaux global et local seulement dans des conditions difficiles du point de vue attentionnel, induites par une trop forte densité des détails pour le traitement local et un trop grand espacement de ces éléments pour le traitement global. Ils interprètent eux aussi leurs résultats comme témoignant du développement de mécanismes attentionnels liées au traitement de l'un et l'autre niveaux. Le décalage entre le développement de ces mécanismes selon le niveau auquel ils sont respectivement liés a été confirmé par la suite des travaux de Dukette et Stiles. Elles ont alors réalisé une série d'expériences fondées sur le même principe, mais à partir d'une tâche de dessin de stimuli hiérarchisés effectuée en l'absence du modèle. Les données obtenues auprès d'enfants de 4, 5, 6 et 8 ans montrent ainsi, encore une fois, une progression de la qualité du traitement global jusqu'à l'âge de 8 ans (Dukette & Stiles, 2001). Dans une recherche conduite chez des adultes, Enns et Kingstone (1995) avaient préalablement montré que la recherche visuelle d'une cible (triangle ou carré pouvant apparaître au niveau global ou local) était moins affectée au niveau local par l'augmentation de densité des éléments, qu'elle ne l'était au niveau global par l'augmentation de leur espacement : même chez l'adulte, les capacités d'intégration semblent donc rester plus vulnérables que les capacités de segmentation. En somme, dès 4 ans, les enfants présentent déjà des capacités de segmentation performantes, alors que les capacités d'intégration requièrent plus de temps pour devenir matures. Le décours temporel du développement des compétences pour traiter les niveaux global et local est donc différent : dans des conditions rendant l'un ou l'autre traitement difficile, les limites du traitement global apparaissent plus tôt que celles du traitement local chez l'enfant.

Nous avons trouvé dans la littérature un seul exemple contraire à cela : Mondloch, Geldart, Maurer et de Schonen (2003) montrent qu'entre 10 et 14 ans l'efficacité des enfants pour le traitement local s'améliore encore, ce qui n'est plus le cas du traitement global dans leur expérience. Notons cependant qu'il s'agit d'une épreuve d'attention focalisée, dans laquelle les caractéristiques physiques des stimuli favorisent très fortement le niveau global : cet avantage est si important dans cette expérience, qu'un effet 'plafond' pourrait peut-être expliquer l'absence de progression des performances à ce niveau au-delà de 10 ans.

A partir de tâches de recherche visuelle d'un stimulus défini soit par ses caractéristiques d'organisation globale, soit par l'aspect de ses détails, Enns, Burack, Iarocci et Randolph (2000) et Burack, Enns, Iarocci et Randolph (2000) ont également comparé l'évolution des capacités des enfants à s'appuyer sur l'un ou l'autre niveau d'analyse. Leur dispositif expérimental permet en outre de dissocier l'influence de facteurs de niveau sensoriel et de facteurs attentionnels : le traitement est rendu plus difficile pour les traitements de bas niveau par la présentation de stimuli dont les détails ont des niveaux de contraste différents (par opposition à une condition avec contrastes uniformes) et les demandes attentionnelles sont manipulées avec le nombre de stimuli distracteurs

présentés. Comme Dukette et Stiles (1996, 2001), ces auteurs observent aussi que la recherche de cibles selon un critère de niveau global s'améliore plus fortement avec l'âge que la recherche basée sur des critères relevant des détails. De plus, cette configuration de résultats demeure quelle que soit la difficulté d'extraction perceptive de l'information. Il semble donc non seulement que le développement des compétences à traiter l'un et l'autre niveaux soit asynchrone, mais aussi qu'il ne repose pas essentiellement sur le développement de compétences visuelles de bas niveau.

Nous avons montré que le traitement des niveaux global/local chez l'adulte implique des composantes attentionnelles ; il semble en être de même chez l'enfant. Les aspects pré-attentionnels des traitements visuels pourraient expliquer chez eux la manifestation précoce d'un effet de supériorité du niveau global, mais le fait que le traitement local soit par exemple favorisé par le prolongement de la présentation du stimulus ou par un allongement de l'étape de familiarisation suggère que des traitements attentionnels peuvent participer à l'analyse du stimulus visuel complexe (Colombo, & al., 1995). Nous avons aussi vu que, même chez de très jeunes enfants, c'est cet aspect attentionnel qui fait sans doute la différence qualitative entre les traitements visuels opérés par les enfants *long-looker*: ils se démarqueraient moins par une différence de sensibilité à l'information située à un certain niveau que par une différence qualitative dans ce sur quoi leur attention a tendance à se porter.

2.2.4. Développement des capacités de filtrage attentionnel et traitement global/local

Les travaux de Porporino, Shore, Iarocci et Burack (2004) sont particulièrement révélateurs du fait que les traitements global/local chez l'enfant ne sont pas étrangers à l'attention. Leur principe est d'introduire dans la situation expérimentale une contrainte attentionnelle supplémentaire, induite par la présence de distracteurs, alors que la tâche est de traiter à l'un ou l'autre niveau un stimulus hiérarchisés présenté de façon centrale. Ils observent que, chez les enfants de 6 et 8 ans, l'augmentation de la demande attentionnelle affecte le traitement du stimulus central et concluent que ce dernier a des composantes attentionnelles. Ce dispositif expérimental leur permet, en outre, d'étudier le développement des trois mécanismes attentionnels : celui du filtrage (nécessaire pour isoler le stimulus pertinent par rapport à ses voisins de gauche et de droite), et les mécanismes attentionnels associés aux niveaux global et local, puisqu'ils pourraient être différemment sensibles à l'interférence produite par les distracteurs. Nous reviendrons donc sur cette expérience, après avoir dit quelques mots sur le développement du filtrage attentionnel, de manière plus générale, chez l'enfant.

2.2.4.1. ETUDES SUR LE DÉVELOPPEMENT DU FILTRAGE ATTENTIONNEL

Le filtrage constitue l'un des aspects de l'attention sélective (pour une revue, voir Siéoff, 1990, 1992). Il est souvent étudié en lien avec la notion de fenêtre attentionnelle. On parle de filtrage lorsqu'un sous-ensemble d'objets ou d'attributs perceptifs présents est sélectionné pour être traité plus profondément. Il s'accompagne d'une inhibition de l'information non pertinente (Broadbent, 1958 ; Eriksen & Eriksen, 1974). La théorie de la

sélection tardive de Treisman et Gelade (1980) propose cependant que le filtre n'est pas 'absolu' et joue surtout un rôle de modérateur, n'excluant pas tout traitement de l'information non sélectionnée. Selon LaBerge (1995), les signaux nerveux correspondant à l'objet sur lequel l'attention est focalisée bénéficieraient d'un rehaussement les faisant émerger du bruit ambiant : ce rehaussement correspondrait à la 'fenêtre attentionnelle' et s'exprimerait sur des régions spatiales ou sur des objets. Le couplage entre le rehaussement attentionnel exercé sur l'information attendue et l'inhibition sur les éléments susceptibles d'entrer en compétition avec la cible augmente l'efficacité du traitement du signal.

Beaucoup de données font état des difficultés des jeunes enfants à sélectionner correctement l'information, mais cette compétence se développe pendant l'enfance. Le développement de différents aspects du filtrage a été envisagé.

Enns et Girgus (1985) expliquent les faibles performances de filtrage chez les enfants par une difficulté à modifier la taille de la fenêtre attentionnelle. Ils ont testé cette idée avec une expérience où des enfants (5 à 19 ans) doivent décider si deux parenthèses ou deux flèches sont les mêmes. La distance les séparant varie de 0.5° à 16° : l'augmentation de cette distance gêne surtout les enfants les plus jeunes, ce qui témoignerait d'une difficulté à ajuster la taille de la fenêtre, étant donné que ces enfants n'ont par ailleurs aucun problème d'acuité visuelle. Une autre expérience souligne la progression des enfants entre 4 et 9 ans, puis jusqu'à l'âge adulte, dans la maîtrise de l'ajustement d'une fenêtre attentionnelle. Pasto et Burack (1997) ont en effet proposé à des enfants de 4, 5, 7 et 9 ans, ainsi qu'à de jeunes adultes, une tâche de discrimination de cible (cercle 'O' ou signe plus '+'), laquelle est présentée parmi 4 types de distracteurs (#, @, *, Δ). Dans certains essais, la cible est présentée à l'intérieur d'un cadre. Les distracteurs sont soit absents, soit proches (0.95° d'angle visuel), soit éloignés (5.7°) de la cible, à sa gauche et à sa droite. Les résultats montrent que les enfants de 4 ans sont perturbés par la présence des distracteurs quelle que soit leur proximité, alors que ceux de 5, 7 et 9 ans le sont uniquement lorsqu'ils sont proches : les enfants de 5, 7 et 9 ans peuvent donc inhiber des distracteurs situés à 5.7° , mais pas à 0.95° de la cible et les adultes parviennent à les inhiber quelle que soit la distance. Une difficulté d'ajustement de la fenêtre attentionnelle chez les enfants de 4 ans dans cette expérience est confirmée par l'amélioration de leurs performances lorsque la cible apparaît dans la fenêtre. Ces résultats témoignent d'un développement du processus d'ajustement de la fenêtre attentionnelle et montrent pour cela un changement considérable entre 4 et 5 ans, ainsi qu'une amélioration plus tardive entre 9 ans et l'âge adulte pour le filtrage des distracteurs les plus proches.

Les résultats d'autres expériences permettent de préciser que les jeunes enfants ont surtout des difficultés à focaliser l'attention volontairement, de manière endogène (Enns & Trick, in press), alors qu'elle est correctement ajustée (aussi bien à 5 ans qu'à l'âge adulte) lorsqu'un indice préalable l'attire automatiquement (Akhtar & Enns, 1989).

D'autres soutiennent enfin que les difficultés d'attention sélective des jeunes enfants sont surtout attribuables à l'immaturité de leurs capacités d'inhibition (Williams, Ponesse, Schachar, Logan, & Tannock, 1999). L'enfance est connue comme une période de développement des capacités de contrôle attentionnel en termes de fonctions exécutives

de haut niveau, permettant d'inhiber des stratégies (Brodeur, 2004), des comportements ou des réponses, comme le montre l'amélioration dans les tâches de 'go no-go' entre 9 et 12 ans (Booth & al., 2003), associée à l'apparition d'activations cérébrales non plus seulement dans les régions frontales et pariétale, mais aussi, comme chez l'adulte, dans une boucle fronto-sous-corticale (Durstun, Thomas, Yang, Ulug, Zimmerman, & Casey, 2002). Mais c'est aussi une période d'amélioration progressive de l'inhibition des informations *perceptives* non pertinentes, même s'il s'agit là d'opérations d'inhibition relevant de systèmes en partie différents (Camus, 2003). Tipper, Bourque, Anderson et Brehaut (1989) ont montré que des enfants de 8 ans sont encore plus sensibles à l'effet Stroop que les adultes, et leur traitement de la couleur du mot n'est pas influencé par le fait que la couleur dans laquelle il est écrit soit celle du nom de l'item précédent (qui doit avoir été inhibé). Dans cette situation, les adultes tirent un bénéfice de cette préalable inhibition, mais ce n'est pas le cas des enfants de 8 ans qui auraient donc effectué une inhibition insuffisante. Enns et Cameron (1987) et Akhtar et Enns (1989) ont confirmé l'amélioration des capacités d'inhibition d'informations visuelles non pertinentes entre 4 et 7 ans et ils insistent sur la différence entre deux composantes des déficits de filtrage chez l'enfant : la difficulté à ajuster la taille de la fenêtre attentionnelle et la difficulté à ignorer l'information non pertinente, en particulier lorsqu'elle présente une similitude avec la cible. De même, dans une tâche de jugement d'orientation d'une flèche centrale, Ridderinkhof, van der Molen, Band et Bashore (1997) montrent l'amélioration des capacités à s'affranchir de la perturbation produite par d'autres flèches orientées différemment et placées de part et d'autre de la cible, entre 5 et 12 ans. Etant donné que les distracteurs sont ici incompatibles avec la cible, aussi bien au niveau perceptif que sur le plan de la réponse à produire, les auteurs suggèrent que l'amélioration de l'inhibition dans ce genre de tâche concerne sans doute autant l'inhibition d'une partie de l'information perceptive que l'inhibition d'une réponse inadéquate pour gérer un conflit à l'étape tardive de sélection de la réponse.

2.2.4.2. VERS NOTRE HYPOTHÈSE SUR UN RYTHME DE DÉVELOPPEMENT DIFFÉRENCIÉ DES MÉCANISMES D'INHIBITION POUR LES NIVEAUX GLOBAL/LOCAL

Les situations demandant de sélectionner un seul niveau d'information dans un stimulus hiérarchisé sont un autre moyen d'étudier le filtrage. Une certaine forme d'inhibition de l'information non pertinente est également nécessaire dans les paradigmes d'attention divisée entre les niveaux, peut-être encore plus particulièrement lorsque la cible à traiter dans un certain item se trouve à un niveau différent de celui qui vient d'être sélectionné dans l'item précédent. Il paraît donc possible de s'intéresser au processus de filtrage et aux mécanismes d'inhibition dans le traitement de stimuli hiérarchisés. Etant donné que le développement des compétences pour traiter l'un et l'autre niveaux suivent des trajectoires développementales différentes, nous pouvons supposer que les mécanismes attentions associés à ces deux niveaux d'analyse se développent, eux aussi, à des rythmes distincts. C'est pourquoi nous nous orientons vers l'hypothèse selon laquelle les opérations inhibition de l'information sur l'un et l'autre niveaux se développent de façon décalée.

La proposition de cette hypothèse sera plus précise, puisqu'il s'agira de proposer que

le mécanisme d'inhibition de l'information sur les détails se développe sur une plus longue période que le mécanisme d'inhibition de l'information issue du niveau global qui, quant à lui, n'atteindrait jamais la perfection et ne s'améliorerait plus dès une étape assez précoce de l'enfance.

Le sens de cette hypothèse est motivé par l'examen des résultats obtenus par Porporino et ses collègues (2004). Rappelons qu'ils proposent de prendre une décision à propos du contenu de l'un des niveaux d'un stimulus hiérarchisé, en présence de deux autres stimuli hiérarchisés situés de part et d'autre. Nous avons expliqué qu'ils montrent que la seule présence de ces distracteurs réduit les performances : le traitement des niveaux global/local n'est donc pas insensible à l'augmentation des demandes attentionnelles de la tâche. De plus, les données montrent que la présence des distracteurs augmente davantage le temps de réponse pour les cibles globales que pour les cibles locales chez les enfants de 6 et 8 ans. Il semble donc que, chez les jeunes enfants, les mécanismes attentionnels associés au traitement du niveau global soient particulièrement vulnérables à la nécessité d'inhiber une information concurrente, et ceci même si cette concurrence ne relève pas de l'étape de sélection de la réponse, mais simplement d'une concurrence perceptive (le phénomène est en effet observé aussi avec des stimuli distracteurs neutres, ne contenant aucune des cibles). Par la suite, les enfants plus âgés et les adultes ne souffrent pas davantage de la présence des distracteurs pour le traitement de l'un ou l'autre niveau. Ainsi, le mécanisme d'inhibition engagé lorsque la cible à traiter est globale semble faire l'objet du développement le plus étendu pendant l'enfance. Cela pourrait en partie expliquer pourquoi plusieurs chercheurs ont observé que le traitement du niveau global fait l'objet d'un développement particulièrement prolongé (Burack, & al., 2000 ; Dukette, & Stiles, 1996, Dukette, & Stiles, 2001 ; Enns, & al., 2000).

3. Développement des asymétries hémisphériques pour les traitements visuo-spatiaux

L'asymétrie hémisphérique pour des fonctions cognitives suscite des questions importantes du point de vue du développement ; des recherches portent donc sur le lien entre la maturation des structures cérébrales chez l'enfant et la spécialisation hémisphérique. Ces travaux ont principalement utilisé les techniques d'écoute dichotique et de présentation en champ visuel divisé. Ces dernières années, l'utilisation de techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle et de techniques électrophysiologiques ont, là encore, enrichi les données. D'une manière générale, les travaux sur la mise en place de spécialisations hémisphériques pour des traitements langagiers sont plus nombreux que ceux portant sur l'établissement de dominances hémisphériques pour des traitements visuo-spatiaux. Avant de proposer une synthèse des données sur ces deux points, nous présentons les principales perspectives qui ont animé ces recherches chez l'enfant. Deux hypothèses majeures s'opposent sur la genèse des spécialisations hémisphériques pour certaines fonctions cognitives : certains estiment qu'elles s'enracinent dans des asymétries biologiques déjà présentes au stade fœtal (Kinsbourne, & Hicks, 1978), ce que

d'autres ne reconnaissent pas (Lenneberg 1967, cité par Stiles, 2000). Au-delà de cette délicate question sur leur origine, les spécialisations hémisphériques subissent des modifications au cours de l'enfance, que ce soit en réaction à des traumatismes (lésions, tumeurs, opérations neuro-chirurgicales...) ou tout simplement au fil du développement ; nous verrons qu'une approche intéressante, et fédératrice, consiste actuellement à présenter le développement de l'asymétrie hémisphérique comme un exemple d'application de la plasticité cérébrale.

3.1. Hypothèses sur le développement de l'asymétrie hémisphérique

3.1.1. Hypothèse de l'équipotentialité

À l'origine de cette hypothèse, Lenneberg (1967, cité par Stiles, 2000) soutient que les hémisphères cérébraux ne présentent aucune spécialisation à la naissance. Chacun d'eux détiendraient alors des possibilités fonctionnelles équivalentes pour toutes les fonctions cognitives, les spécialisations hémisphériques ne s'établissant qu'entre 2 et 12 ans. Avant 2 ans, la plasticité cérébrale serait maximale. En conséquence, une lésion survenant dans l'HG avant les deux premières années de vie aurait, par exemple, peu de conséquences sur l'acquisition du langage, l'équipotentialité des hémisphères permettant la récupération de cette fonction par l'HD. Dans cette logique, la qualité de toute récupération fonctionnelle cognitive dépendrait essentiellement de l'âge de l'enfant lors de la survenue de la lésion. Plus elle interviendrait tôt, plus rapide et complète serait la récupération de la fonction cognitive pour laquelle la région détériorée avait commencé à développer des compétences particulières.

Les arguments les plus anciens en faveur de cette hypothèse viennent de l'observation d'aphasies acquises chez l'enfant et de descriptions de cas d'enfants hémisphérectomisés. De nombreuses études de cas ont en effet rapporté des conséquences moins marquées en cas de lésions hémisphériques unilatérales chez les enfants que chez les adultes (pour une revue, voir Duvelleroy-Hommet, 1999). De plus, des cas d'aphasie après lésion droite précoce (avant 5 ans) confortent l'idée d'une équipotentialité des hémisphères chez les jeunes enfants (Krashen, 1973 ; Vargha-Khadem, Isaacs, Papaleludi, Polkey & Wilson, 1991). Il faut néanmoins relativiser ces données sur les aphasies après lésion droite chez le jeune enfant, car à l'époque de ces observations, la latéralisation exclusive des lésions alors étudiées ne pouvait, pour des raisons techniques, être aussi fortement assurée qu'aujourd'hui (Paquier & Van Dongen, 1996).

Même si l'hypothèse d'équipotentialité reste intéressante et cohérente avec certaines données en imagerie cérébrale (TEP) confirmant l'inversion de l'asymétrie pour le langage en cas de lésions gauches précoces (Müller, Rothermel, Behem, Muzik, Chakraborty & Chugani, 1999), la version forte de cette théorie doit être relativisée. Aujourd'hui, il ne s'agit plus, en effet, d'affirmer que seul l'âge du patient, au moment de la lésion détermine la récupération fonctionnelle. L'influence de la localisation, ainsi que celle de l'étendue de la lésion, sont aussi déterminantes pour que la prise en charge d'une fonction soit opérée par l'hémisphère intact, ou bien par des régions voisines de la zone détériorée en restant

dans l'hémisphère lésé. Pour ce qui est de l'importance de la localisation précise de la lésion, le travail de Liegeois et ses collègues (2004) montre par exemple que 4 cas sur 5 avec lésion gauche dans la région de l'aire de Broca présentent par la suite des activations cérébrales attestant une réorganisation périsylvienne des traitements langagiers au sein même de l'HG lésé, alors que seuls les cas de lésions éloignées de l'aire de Broca donnent lieu à une réorganisation des aires du langage dans l'hémisphère épargné (HD). D'une manière générale, la récupération d'une fonction par l'hémisphère non atteint dépend aussi de l'étendue de la lésion. Si celle-ci est petite, des régions voisines de la zone atteinte et situées dans le même hémisphère cérébral peuvent plus facilement se charger de la fonction cognitive normalement sous-tendue par la partie lésée ; des cas de spécialisation de l'hémisphère droit pour le langage suite à une lésion des structures cérébrales dans l'hémisphère gauche correspondent plutôt à des lésions étendues ou diffuses (Müller, & al. 1999). Enfin, il se trouve par exemple que les cas de lésions situées dans des régions sensorielles et motrices se prêtent moins à la récupération que des lésions touchant les aires associatives et plus particulièrement les zones langagières (Stiles, 2000). Ces différences observées en matière de récupération s'expliqueraient par le fait que les fonctions primaires atteignent très tôt leur maturation au cours du développement (Rosa & Lassonde, 2005).

La précocité de la lésion ne suffit donc pas à prédire le mode de réorganisation cérébrale intra- ou inter-hémisphérique, ce qui relativise l'hypothèse de l'équipotentialité.

3.1.2. Hypothèse de l'invariance

Toute contraire à la précédente, l'hypothèse de l'invariance, développée par Kinsbourne et Hiscock (1977), postule que les hémisphères cérébraux sont déjà spécialisés au stade fœtal. Les travaux qui corroborent cette hypothèse portent sur des différences observées sur les plans anatomique et fonctionnel. À l'image de certaines asymétries anatomiques cérébrales présentes très tôt, telle que la plus grande étendue du *planum temporale* dans l'HG dès la 31^{ème} semaine (Hellige, 1993), certains supposent une asymétrie hémisphérique précoce sur le plan fonctionnel.

Des données anatomiques montrent en effet que le néocortex est asymétrique au stade fœtal. Dans une série de travaux chez le fœtus, LeMay (1976, 1977, 1984) montre notamment que le lobe frontal est plus saillant et est doté de connexions plus développées dans l'HD, alors que le lobe occipital est plus développé dans l'HG. À partir d'une étude en TEP, Chiron et ses collègues (1997) nous apprennent aussi que, entre 1 et 3 ans, l'HD présente une certaine dominance pour ce qui est du développement des aires associatives postérieures, avantage qui diminuera à 3 ans au profit de l'HG. En revanche, les connexions fronto-temporales gauches se développeraient plus tôt que celles de l'HD. Ces différences seront sujettes à des modifications dans la suite du développement.

Certains attribuent l'asymétrie hémisphérique fonctionnelle précoce à une interaction entre ces différences de rythme de maturation des hémisphères et la nature des informations disponibles dans l'environnement. Ainsi, pour Turkewitz (1988, cité par Masataka, 2006), l'exposition du cerveau de l'enfant à une grande quantité de bruits avant

la naissance (battements de cœur, bruits de digestion...) conduirait l'HD, développé plus vite, à une certaine priorité pour traiter l'information auditive non linguistique. Plus tard, le changement des propriétés de transmission acoustique de l'utérus permet la réception de voix et l'HG, à ce moment mieux développé et non occupé au traitement des bruits, serait alors disposé au traitement du langage maternel, préfigurant la dominance gauche pour le langage. De telles conceptions supposent une maturation cérébrale plus rapide de l'HD au début de la vie, mais accordent aussi un rôle déterminant aux stimulations de l'environnement.

Pour certains aspects des traitements linguistiques, les prédictions de l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique très précoce pour le langage se confirment, notamment pour ce qui est des aspects syntaxiques en production : en cas de lésion gauche pourtant survenue avant 2 ans, ces aspects langagiers font en effet l'objet de déficits particulièrement importants (Aram & Eisele, 1994). Les travaux de Bertoncini, Morais, Bijeljac-Babic, McAdams, Peretz et Mehler (1989) montrent aussi une opposition très précoce entre les dominances hémisphériques gauche et droite, respectivement pour la perception de parole et de sons musicaux, chez les bébés dès 4 jours après la naissance.

Il reste toutefois que, là aussi, la version forte de cette hypothèse de l'invariance est en difficulté devant certaines observations relatant la prise en charge rapide (3 semaines après l'atteinte cérébrale) de mécanismes d'extraction d'information phonétique par les régions controlatérales en cas de lésion précoce (Dehaene-Lambertz, Pena, Christophe, & Landrieu, 2004). Par exemple, malgré un retard inévitable d'acquisition du langage, les déficits sont globalement plus subtils en cas de lésions de l'HG chez le jeune enfant, qu'en cas de lésions similaires chez l'adulte (Bates, & al., 2001), et les déficits langagiers de tels enfants s'atténuent parfois rapidement, pour permettre des performances langagières situées dans la norme dès la fin de l'école primaire (Stiles, & al., 2005). De même, étudiant l'impact de lésions gauches survenues entre 13 mois et 4 ans sur le développement du langage, Vicari, Stiles, Stern, et Resca (1998) relatent un retard prononcé lors des premiers stades du développement langagier, mais celui-ci est ensuite rattrapé autour de 10 ans. Par contre, des lésions survenues à l'adolescence produisent des déficits langagiers plus marqués et moins bien récupérés, bien que la plasticité cérébrale existe au-delà de cet âge (Stiles, & al., 2005).

De telles données incitent à s'écarter de la version forte de l'hypothèse de l'invariance, et nous allons voir que Stiles propose une approche permettant de sortir du débat qui oppose les versions strictes des deux hypothèses dont nous avons parlé.

3.1.3. Développement de l'asymétrie hémisphérique comme exemple de plasticité cérébrale

La plasticité cérébrale est souvent mentionnée en neurosciences pour parler des aspects dynamiques d'adaptation et d'interaction entre les structures cérébrales et l'environnement, chez l'enfant comme chez l'adulte. Elle est particulièrement évoquée lorsqu'il s'agit d'expliquer comment s'opère la récupération de certaines fonctions cognitives, après la détérioration des aires cérébrales qui sous-tendent leur réalisation,

notamment en cas de lésion ou d'intervention en neurochirurgie. L'originalité de l'approche de Stiles et de ses collègues (2005) est de donner à ce principe de plasticité une place plus importante, en reconnaissant qu'il anime aussi bien la récupération fonctionnelle post-traumatique que le développement normal des fonctions cérébrales : un principe d'explication commun est alors évoqué pour parler à la fois de pathologie en neuropsychologie et de développement cognitif normal. La plasticité n'est plus alors conçue comme un processus indépendant, réactif et ancillaire au développement. Elle serait en œuvre dans la maturation cérébrale de chacun.

Le deuxième point important dans la perspective de Stiles est que la capacité d'adaptation cérébrale de l'enfant ne serait plus un processus suivant seulement des règles générales, mais serait essentiellement déterminée par les caractéristiques du développement cérébral de la fonction considérée. Le développement des mécanismes cognitifs ne peut plus être alors envisagé comme uniforme, ni pour le rythme, ni pour la mise en place de spécialisations hémisphériques. Cette approche nous intéresse particulièrement, car elle offre un cadre pour décrire l'évolution du traitement de stimuli hiérarchisés chez des enfants, la mise en place des spécialisations hémisphériques associées, et les éventuelles anomalies de développement de ces deux aspects chez des enfants dyslexiques. Dans une telle perspective, il devient en effet possible de rendre compte de la variabilité avec laquelle la récupération fonctionnelle, ou le développement, s'opèrent selon les aires cérébrales et aussi selon les mécanismes détériorés. En développant cette idée, Stiles sort du débat entre les deux théories précédentes et met en avant la variété des chemins que peut prendre le développement d'une fonction. Elle s'écarte aussi de deux idées classiques à propos de la récupération post-lésionnelle : la prétendue préférence pour la préservation du langage et le '*crowding*'.

3.2. Développement de la spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage

Le cerveau humain présente une capacité étonnante à rétablir un bon fonctionnement dans le domaine du langage à la suite d'une lésion précoce de l'HG. Cela peut paraître paradoxal, car certains aspects du langage seraient latéralisés très tôt. Kimura (1963, cité par Rosa Lassonde, 2005) avait déjà observé un avantage de l'oreille droite, chez des enfants de 4 à 9 ans, dans un paradigme de rappel libre en écoute dichotique, sans changement significatif des résultats avec l'âge. De même, Ahmad Balsamo, Sachs, Xu et Gillard (2003) ont noté des activations significatives dans le gyrus temporal médian et supérieur gauche en réponse à l'écoute d'histoires (présentées à l'endroit ou à l'envers) chez des enfants de 5, 6, 7 et 9 ans. Surtout, une dominance de l'HG a été mise en évidence pour la sensibilité aux stimuli langagiers (plutôt que musicaux) dès 3 mois (Best, Hoffman, & Glanville, 1982) : un avantage de l'oreille droite-HG pour le traitement de syllabes d'une part, et de l'oreille gauche-HD pour les sons musicaux d'autre part, sont en effet observés dès cet âge : à 2 mois, seul l'avantage de l'oreille gauche-HD pour la musique est net, mais cela montre déjà que les sons langagiers et non langagiers engagent différemment certaines régions cérébrales latéralisées. Bertoni et collègues (1989) ont quant à eux montré cet effet dès les premiers jours de la vie. Dans leur étude,

des nourrissons de 4 jours étaient soumis à une phase d'habituation avec des paires de notes de musique provenant de divers instruments (piano, violon, flûte et hautbois). Dans la phase test, l'un des stimuli était modifié dans l'une ou l'autre oreille. Les auteurs ont observé une grande sensibilité des nourrissons au changement de stimuli effectué dans l'oreille gauche. Le même type de manipulation réalisé avec des syllabes ont révélé, au contraire, une plus grande sensibilité de l'oreille droite, témoignant d'une dominance précoce de l'hémisphère controlatéral (HG) pour le langage.

Certaines données en imagerie cérébrale ont aussi détecté des indices d'une organisation fonctionnelle du cerveau du nourrisson, avec parfois des asymétries très précoces, suggérant que les hémisphères ne sont pas équivalents initialement pour accueillir la fonction langagière dès les premiers mois de la vie. Une asymétrie anatomique est déjà mesurable au niveau du *planum temporale* (partie postérieure du gyrus temporal supérieur, importante pour le traitement du langage chez l'adulte) dès 31 semaines après l'aménorrhée de la maman, et elle est associée à une asymétrie hémisphérique fonctionnelle également décelable très tôt, chez des nourrissons de 2-3 mois (Dehaene-Lambertz, 2005). En présence de séquences de parole, des activations cérébrales sont en effet enregistrées dans cette région, surtout dans l'HG, comme c'est aussi le cas chez l'adulte de manière plus marquée.

Compte tenu de ces indices de spécialisation hémisphérique précoce pour le langage, comment rendre compte des capacités de récupération des fonctions langagières après une atteinte cérébrale gauche survenue avant 5 ans ? Trois explications sont proposées.

L'une évoque un statut particulier du langage, fonction essentielle dont la prise en charge cérébrale jouirait d'un privilège. Sans nier le caractère déterminant du langage pour l'adaptation sociale dans notre espèce, il est relativement récent à l'échelle de l'évolution et d'autres fonctions comme la compréhension des émotions et les traitements spatiaux sont aussi vitales, ce qui réduit la portée de cet argument.

Des différences de plasticité des hémisphères sont parfois évoquées : l'HD serait doté de meilleures capacités de vicariance et donc disposé à accueillir une fonction pour laquelle il n'était pas destiné. C'est par exemple l'interprétation évoquée par Ferro, Martins et Tavora (1984) pour expliquer d'après un déficit initial des fonctions visuo-spatiales, suite à une lésion de l'HD, trois patients âgés de 5, 6 et 9 ans voient ces difficultés disparaître moins d'un mois après la survenue de la lésion. Selon les auteurs, l'HD aurait donc de très bonnes capacités de vicariance, qui pourraient parfois être mises à profit pour accueillir particulièrement bien des fonctions ayant pourtant commencé à se latéraliser à gauche. Assez vague, cet argument reste peu convaincant, puisque ce qui fonde la meilleure plasticité de l'HD n'est pas décrit.

L'observation de troubles visuo-spatiaux associés à une bonne récupération du langage après une lésion de l'HG a suggéré une troisième interprétation en terme de *crowding* (*sur-occupation*) : l'HD, occupé à accueillir la fonction langagière, prioritaire dans cette perspective, ne développerait pas les fonctions qu'il prend normalement en charge. Les règles présidant à ce phénomène d'échange demeurent cependant obscures (De Schonen & al., 1994).

Stiles (2000) explique quant à elle les bonnes capacités de récupération du langage après lésion précoce de l'HG par une caractéristique du développement de cette fonction, et évite ainsi la notion de privilège. Elle répertorie des arguments montrant que des régions cérébrales sont engagées dans certains traitements langagiers de manière bilatérale chez le jeune enfant. Nous pouvons ajouter à ces éléments le fait que, même chez des enfants assez âgés (10 ans), une dominance de l'HG est observée pour une tâche de fluence verbale, avec des activations cérébrales enregistrées au niveau des régions périsylviennes gauches, mais ces activations sont toutefois plus diffuses chez les enfants que chez les adultes (Gillard, Hertz-Pannier, Mott, & Barnett, 1999 ; Le Bihan, & al., 1999).. C'est donc une certaine compétence précoce de l'HD dans le domaine verbal qui faciliterait une récupération de la fonction langagière suite à une lésion de l'HG.

De même, avec un tel raisonnement, le principe du crowding ne doit plus nécessairement être évoqué pour rendre compte des troubles visuo-spatiaux en cas de lésion gauche. Stiles rappelle en effet que le traitement visuo-spatial global et local d'un stimulus implique des activations dans les hémisphères respectivement droit et gauche. Puisque l'HG est crucial pour la prise en compte des détails, il n'est pas aberrant de retrouver parfois certains déficits visuo-spatiaux en cas de lésion gauche, sans évoquer pour autant l'indisposition de l'HD à effectuer des traitements visuo-spatiaux, à cause d'une sur-occupation de ses ressources par la prise en charge de la récupération du langage.

3.3. Développement de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements visuo-spatiaux

Par rapport aux travaux sur le développement du langage, l'effet de lésions sur le développement de la cognition spatiale chez l'enfant reste peu étudié.

Quelques données existent cependant concernant les capacités de localisation d'une cible visuelle chez des enfants de 10 à 12 ans. Dans une recherche conduite en IRMf, Passaroti et ses collègues (2003) ont présenté un premier visage dans l'un des 12 emplacements possibles sur l'écran, puis un autre apparaissait ailleurs, et la cible était enfin présentée pour que le sujet décide si elle se situait dans l'un des deux emplacements précédents. La réalisation de cette tâche visuo-spatiale s'accompagne d'activations cérébrales dans le lobe pariétal postérieur, réparties de manière bilatérale chez les enfants, alors qu'elles sont latéralisées dans l'HD chez les adultes. Etant donné l'âge assez avancé des enfants, ces données montrent donc que la dominance hémisphérique droite pour ce type de traitement spatial se met en place assez tard. D'autres données soulignent cependant la vulnérabilité des mécanismes de localisation à des atteintes cérébrales latéralisées dans l'HD pendant l'enfance. Dans une autre tâche de localisation d'un point sur une matrice (9 emplacements possibles) présentée en CVD-HG ou en CVG-HD, les performances de 12 enfants de 8 à 12 ans, atteints d'une épilepsie bénigne à pointes centro-temporales (EPCT) latéralisées, ont été analysées (Bedoin, & al., 2006). Ils présentent des difficultés majeures seulement si le foyer épileptogène est situé dans l'HD (les enfants avec un foyer gauche réussissent au contraire très bien la tâche). Comme ces enfants ne font pas (ou très peu) de crises, cela

suggère que la présence de simples pointes-ondes inter-ictales latéralisées à droite suffit à produire un déficit pour certains mécanismes visuo-spatiaux, en tout cas lorsqu'elles surviennent vers 7 ans, âge moyen de l'apparition de cette forme d'épilepsie dite bénigne. Pour ce mécanisme visuo-spatial, ce type de pathologie et l'âge où elle intervient ne semblent pas favoriser une réorganisation cérébrale permettant une prise en charge très efficace par l'autre hémisphère, ce qui témoigne vraisemblablement de la mise en place pendant l'enfance d'un rôle important (mais sans doute non exclusif, cf. Passarotti & al., 2003) de l'HD pour les mécanismes visuo-spatiaux impliqués dans cette épreuve.

Une autre capacité de traitement visuo-spatial, connue pour être sous-tendue par des aires cérébrales fortement latéralisées chez l'adulte, pourrait faire l'objet d'une spécialisation particulièrement précoce de l'HD. Il s'agit de la capacité de jugement de l'alignement, plus ou moins parfait, de deux segments. Nous la mettons en œuvre dans des activités quotidiennes, par exemple pour utiliser des instruments de mesure tels qu'une règle graduée. Le paradigme de Vernier permet d'étudier cette compétence en demandant de décider si deux segments verticaux alignés l'un au-dessus de l'autre et séparés par un petit espace sont en exact prolongement l'un de l'autre ou s'ils sont décalés. L'acuité de Vernier renvoie au seuil de détection d'un tel décalage entre deux lignes presque colinéaires. Dans une étude réalisée auprès de deux patients split-brain, des performances nettement meilleures ont été observées pour l'HD dans cette tâche (Corballis, & al., 2002). Pour ce qui est du développement, un bébé de 3 mois détecte déjà un décalage de 0.31° d'angle visuel (Manny & Klein, 1984, cités par Brown, Adusumili, & Lindsey, 2005) et l'adulte est sensible à un décalage 100 fois plus petit, ce qui correspond à une amélioration impressionnante par rapport à d'autres capacités visuelles (Watt & Morgan, 1983). Selon des travaux récents, l'acuité de Vernier peut être considérée comme équivalente entre deux individus s'ils présentent le même ratio entre leurs performances en discrimination de décalages et de contrastes, ce qui est le cas pour les bébés de 3 mois et les adultes (Brown, Adusumilli, & Lindsey, 2005) et conduit à parler d'une ressemblance qualitative entre l'acuité de Vernier du bébé et de l'adulte, permettant de les comparer. Une étude conduite à ce sujet sur des groupes de 24 enfants de 6, 7, 8 et 9 ans avec une présentation du couple de segments (non décalés ou décalés de 0.3° , 0.4° ou 0.5°) en champ visuel divisé a montré que les difficultés posées par le décalage le plus fin (0.3°) par rapport au décalage de 0.4° diminuent très fortement entre 6 et 7 ans, pour atteindre ensuite un palier. Surtout, chez les enfants de 6 ans, le décalage qui pose le plus de problèmes (0.3°) fait l'objet d'un avantage de l'HD ; un avantage marginal de l'HD est relevé pour le décalage de 0.4° et il est significatif pour le décalage de 0.5° . Pour toutes ces conditions, dans les groupes d'enfants de 7, 8 et 9 ans, un avantage de l'HD est par contre systématiquement observé, aussi bien sur les temps de réponse que sur l'indice de sensibilité (d') (Lopez Castello, 2006). Les mécanismes visuo-spatiaux impliqués dans cette tâche sont donc latéralisés chez l'enfant à partir de l'école primaire, à moins que le décalage soit visuellement trop subtil. Dans cette épreuve, des enfants atteints d'épilepsie bénigne centro-temporale avec foyer latéralisé à gauche ont de bonnes performances et présentent la dominance en CVG-HD comme les enfants contrôles, alors que les enfants porteur d'un tel foyer dans l'HD sont en échec. Leur échec est encore plus grand pour les stimuli présentés en CVG-HD, sans que leurs performances en CVD-HG permettent de parler d'une véritable récupération à partir de la

prise en charge des mécanismes par l'HG. Ces résultats témoignent donc eux aussi de la latéralisation droite de ces mécanismes visuo-spatiaux chez l'enfant (Bedoin, & al., soumis).

Comme nous l'avons signalé dans la partie 3.2. du chapitre 1, certains mécanismes visuo-spatiaux ne font pas l'objet d'une dominance générale de l'HD, mais plutôt d'asymétries hémisphériques complémentaires. C'est le cas de l'opposition entre les traitements global/local, sur lesquels nous reviendrons dans la partie qui suit, et il en est ainsi de la distinction entre les jugements de relations spatiales catégorielles ou coordonnées. Une étude conduite par Koenig, Reiss et Kosslyn (1990) a porté sur le développement de la spécialisation hémisphérique pour ces traitements. Dans leur expérience, les enfants de 5 et 7 ans avaient pour consigne de dire si un point était situé au-dessous ou au-dessus d'une ligne horizontale (tâche de jugement spatial catégoriel) ou s'il était à plus ou moins 3 millimètres de cette ligne (tâche de jugement spatial métrique). Dès 5 ans, les résultats montrent l'avantage de l'HG dans la tâche catégorielle et celui de l'HD dans la tâche métrique, comme chez l'adulte, ce qui atteste de spécialisations hémisphériques déjà en place avant la scolarisation en école primaire. Les travaux de Reese et Stiles (2005) confirment la conformité de l'asymétrie hémisphérique pour ces deux mécanismes chez des adultes et des enfants de 8 et 10 ans.

Enfin, des compétences visuo-spatiales impliquant des mécanismes d'intégration et de segmentation sont aussi étudiés chez l'enfant, testant parfois si les premiers font l'objet d'une dominance de l'HD et les seconds d'une dominance de l'HG avant l'âge adulte. Nous présenterons ici les travaux traitant ce point à partir de situations autres que celles offertes par le paradigme des stimuli hiérarchisés ; l'étude du développement de leur latéralisation hémisphérique à travers l'opposition global/local dans des figures inspirées de celles de Navon feront l'objet de la partie suivante.

Dans le domaine visuo-spatial, l'intégration et la segmentation ont ainsi été étudiés avec la copie de la Figure de Rey. Il se trouve tout d'abord que des lésions péri-natales unilatérales affectent différemment ces deux capacités (Akshoomoff, Feroletto, Doyle, & Stiles, 2002), ce qui suggère une spécialisation extrêmement précoce. Toutefois, vers 12 ans, les performances de ces enfants s'inscrivent dans la norme : comme pour le langage, la précocité des lésions permet sans doute l'adaptation du système neuronal et une réorganisation inter-hémisphérique de ces compétences visuo-spatiales. Cependant, des déficits subtils et spécifiques selon la latéralisation des lésions restent détectables lorsque les tâches sont difficiles et requièrent plus de ressources. Akshoomoff et ses collègues (2002) confirment aussi la persistance de tels déficits, des années après la lésion. Ils ont effectué une étude longitudinale chez 20 enfants de 6 à 14 ans présentant des lésions prénatales ou périnatales latéralisées. Les enfants doivent reproduire la Figure de Rey en présence ou non du modèle. De manière générale, les patients ont de moins bonnes performances que les enfants sains de leur âge, particulièrement à 6-7 ans. Jusqu'à 9-10 ans, aucune différence de performances n'est observée entre les stratégies des patients selon la latéralisation des lésions, pour la copie en présence du modèle. Par contre, à cet âge, lorsqu'ils dessinent de mémoire, les enfants avec lésion gauche se caractérisent par des difficultés à reproduire les détails (voir aussi Stiles & Nass, 1991 ; Stiles & al., 1996, 1997, 1998 ; Vicari & al., 1998), mais organisent la

reproduction du dessin à partir d'un grand rectangle de base. Ils peuvent donc développer, à cet âge, une stratégie de dessin plus mature décrite aussi chez les enfants sans lésion (Akshoomoff & Stiles, 1995a, 1995b), impliquant de bonnes capacités d'intégration qui semblent faire défaut, des années après la lésion, aux enfants atteints de lésions droites.

Des situations de construction à partir de petits blocs ont aussi été mises en œuvre pour étudier les capacités d'intégration et de segmentation chez 20 enfants d'âge préscolaire présentant des lésions congénitales et unilatérales de l'HG ou de l'HD (Stiles & Nass, 1991). Les performances sont globalement moins bonnes chez les petits patients, que chez les enfants contrôles du même âge, mais la configuration des résultats diffère selon la latéralisation des atteintes cérébrales. Les enfants avec lésion droite ont des difficultés à organiser les blocs en un ensemble bien structuré (ce qui est interprété comme un déficit de traitement de l'aspect global), alors que ceux atteints d'une lésion gauche ont des difficultés à organiser précisément les éléments locaux. Les déficits des patients avec lésion droite persistent avec l'âge et étant donnée l'origine précoce des lésions, la latéralisation de certains mécanismes impliqués dans ces traitements semble également précoce. Ces résultats ont été répliqués ensuite par Stiles, Bates, Thal, Trauner et Reilly (1998), puis Stiles et ses collègues (2003a) pour des lésions unilatérales pariétales: là encore, des difficultés de segmentation caractérisent les réalisations en cas de lésion gauche, alors qu'un déficit d'intégration des éléments est associé à la lésion droite.

3.4. Développement de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local

Peu de recherches se sont directement intéressées au développement de la spécialisation hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local pendant le développement normal, et aucune ne porte sur la question du rôle des catégories de stimuli représentés dans les stimuli hiérarchisés proposés aux enfants.

Les premières données à ce sujet viennent des travaux de Deruelle et de Schonen, qui ont montré, en 1991, que des enfants de 4 à 10 mois ne pouvaient pas traiter élément par élément des configurations représentant des visages très schématiques présentés en CVG-HD, alors qu'ils y parvenaient pour de mêmes stimuli présentés en CVD-HG. Cela suggérait déjà la possibilité d'une spécialisation de l'HG du bébé pour des mécanismes prenant en charge le niveau local de stimuli visuels complexes (et constituant une bonne forme), des structures de l'HD se chargeant plutôt du codage de l'emplacement de ces éléments. Par la suite, ces auteurs ont utilisé auprès d'enfants du même âge un dispositif d'apprentissage en champ visuel divisé très ingénieux, présentant à l'enfant un point de fixation central et deux oursons, un en haut, l'autre en bas de l'écran. Dans la condition *composantes différentes*, l'enfant voit soit une configuration de 5 petits cercles, soit une configuration de 5 petits losanges (les deux configurations sont spatialement organisées de la même manière), qui apparaît dans l'un des champs visuels (toujours le même dans un même bloc). Il apprend à déplacer son regard en haut ou en bas, selon qu'il a vu l'une ou l'autre figure, pour que l'image de l'ourson s'agite (un dispositif d'enregistrement des

mouvements oculaires permet de déclencher ce mouvement seulement si l'enfant l'anticipe du bon côté). Il apprend ainsi à anticiper lequel des 2 ours s'agit, en se basant sur la différence entre la forme des petits éléments locaux. L'enfant effectue cet apprentissage dans chacun des champs séparément, et il fait également le même type d'apprentissage à partir de deux stimuli qui diffèrent cette fois seulement par l'emplacement des éléments dans la configuration (mais ces éléments sont de même forme) (condition *emplacement différent*). Les données montrent que davantage de bébés apprennent mieux à discriminer les formes des détails avec la présentation en CVD-HG, alors que l'HD leur permet plus facilement d'apprendre à discriminer les emplacements d'éléments, c'est-à-dire à effectuer un traitement de localisation spatiale. Cette configuration de résultats préfigure sans doute la future dominance de l'HG pour le niveau local et celle de l'HD pour l'appréciation de l'aspect spatial d'une forme globale.

En s'intéressant cette fois à des enfants plus âgés, Roe, Moses et Stiles (1999) montrent aussi une latéralisation hémisphérique différente pour les deux niveaux d'un stimulus hiérarchisé chez des enfants de 7 à 14 ans. Les stimuli de l'expérience sont, par exemple, un grand triangle constitué de petits carrés noirs sur un fond blanc. Les cibles (carré ou rectangles) doivent être discriminées en se focalisant soit au niveau global, soit au niveau local. Les résultats montrent une diminution progressive des temps de réponse entre 7 et 14 ans. Des effets d'interférences du global sur le local sont observés chez tous les enfants. Chez les enfants de 7 ans, cette interférence est toutefois particulièrement nette et accompagnée de réponses plus rapides au niveau global, deux indices témoignant d'un fort avantage du niveau global. Chez les plus jeunes, ce fort avantage du niveau global associé à l'absence d'asymétrie hémisphérique selon les niveaux correspond à ce que les auteurs décrivent comme un '*profil immature*'. Par ailleurs, les profils d'asymétrie hémisphérique évoluent avec l'âge. En grandissant, les enfants améliorent surtout le traitement local, ce qui réduit l'effet d'avantage du niveau global, et cette amélioration du traitement local s'accompagne de l'apparition d'une dominance de l'HG pour ce niveau, alors que l'avantage de l'HD pour le niveau global restera marginalement significatif. Cela permet aux auteurs de décrire un '*profil mature*', avec des performances qui s'équilibrent entre les niveaux et une asymétrie hémisphérique qui se précise pour l'un et l'autre niveaux : ce profil, présent dès 12 ans, est encore plus proche de celui des adultes à 14 ans. Aussi, le développement des mécanismes permettant les traitements global et local d'une information visuelle complexe se prolongent jusqu'à l'adolescence, tant pour l'efficacité du traitement des niveaux que pour la spécialisation hémisphérique dont ils font l'objet.

En s'intéressant plus particulièrement aux dernières tranches d'âge, Moses, Roe, Buxton, Wong, Frank et Stiles (2002) ont recueilli des données en IRMf pour s'assurer que le développement des traitements global/local chez ces grands enfants est bien marqué par des changements de distribution des activations cérébrales fonctionnelles selon le niveau de traitement. Ils reprennent eux aussi le paradigme d'attention focalisée et utilisent les stimuli de l'expérience conduite avec des adultes par Martinez et ses collègues (1997). Sur la base de données comportementales obtenues dans une épreuve en champ visuel divisé, ils ont constitué deux groupes, l'un avec le profil mature (8 enfants), l'autre avec le profil immature (12 enfants), puis se sont intéressés à leurs activations dans la région occipito-temporale. Les données révèlent que le profil immature

est associé à des activations temporo-occipitales plus fortes pour le niveau local, mais aussi à des activations bilatérales pour le niveau global et plus marquées dans l'HD pour le niveau local. Il s'agit bien d'indices d'asymétrie très différents de ceux classiquement observés chez des adultes. En revanche, chez les adolescents avec profil mature, le traitement global s'accompagne d'activation plus marquée dans l'HD pour le niveau global et dans l'HG pour le niveau local, ce qui confirme qu'à la fin de l'enfance un changement majeur s'opère dans le sens de spécialisations hémisphériques plus nettes et spécifiques pour les niveaux d'analyse global et local. Tout cela va dans le sens de l'engagement de systèmes de traitement de plus en plus spécialisés (Stiles, & al., 2003a).

Cela n'exclut tout de même pas certains prémisses très précoces de cette spécialisation hémisphérique, comme le suggéraient les travaux de Deruelle et de Schonen (1991, 1995). Les données de Mondloch, Geldart, Maurer et de Schonen. (2003, Expérience 3) ont également montré que des indices de la mise en place progressive d'un avantage de l'HD pour le niveau global et d'un avantage de l'HG pour le niveau local peuvent être découverts entre 6 et 10 ans. Ces chercheurs ont demandé aux participants de juger la similarité entre deux stimuli hiérarchisés (grands carrés, cercles et rectangles constitués de petits carrés, cercles et rectangles noirs) présentés ensemble dans un même hémichamp visuel, en se focalisant sur le niveau soit global, soit local. Pour le niveau local, les enfants de 10 et 12 ans ont présenté une dominance de l'HG, alors que pour le niveau global aucune asymétrie hémisphérique n'est apparue. Le profil 'mature' décrit par Roe et ses collègues (1999) et Moses et ses collègues. (2002) pourrait donc être en place chez certains enfants dès 10 ans.

Les travaux sur la mise en place de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local pendant l'enfance restent donc peu nombreux et n'ont utilisé que des épreuves d'attention focalisée à un niveau. Il semble intéressant de tester ce qu'il en est dans des paradigmes d'attention divisée entre niveaux. De même, ces travaux chez l'enfant n'ont pas comparé l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux selon la catégorie des stimuli utilisés. Nous avons vu, à l'issue de nos expériences du chapitre 1 et conformément aux travaux de Fink et ses collègues (1997), que des influences de haut niveau pouvaient, en tenant compte de connaissances sur la catégorie du matériel à venir, orienter l'investissement de certains mécanismes latéralisés, en particulier pour le traitement des informations visuelles au niveau local. Qu'en est-il de ce type de modulation chez les enfants ? Comment se met-elle en place ? Il est possible qu'elle suive elle aussi un développement progressif pendant l'enfance. Cela dépend certainement du développement des capacités attentionnelles permettant le contrôle de la distribution des ressources, mais cela dépend aussi sans doute de l'évolution du statut des catégories Lettre et Dessin d'Objet pour les enfants. Il est possible que les lettres, avec l'amélioration de l'expertise en lecture, deviennent des tracés particulièrement familiers. Il se peut aussi que leur statut alphabétique, qui les fait alors relever du domaine langagier, les distingue progressivement des autres catégories de tracés.

4. Développement des traitements global/local et

catégories des stimuli hiérarchisés

4.1. Spécificité du traitement des lettres

Les travaux conduits sur la reconnaissance du mot écrit montrent généralement une plus grande implication des structures de l'HG. Toutefois, ce processus n'implique pas que des connaissances langagières et le mot est aussi un stimulus caractérisé par une organisation visuo-spatiale complexe. La présence d'informations pertinentes sur les lettres (détails devant être correctement identifiés pour éviter des confusions de mots), mais aussi sur leur agencement spatial et éventuellement la silhouette de l'ensemble, fait de la lecture de mot une situation imposant de manière rapide la mise en œuvre de mécanismes variés, tant verbaux que visuo-spatiaux.

Du point de vue alphabétique, la plus petite unité visuelle est la lettre. Bien qu'elle soit élémentaire, il est pertinent de s'intéresser à l'opération de traitement de cette unité : elle est en effet déterminante pour l'identification des mots écrits, car elle garantit sa précision. De plus, l'habileté à effectuer cette opération est liée aux compétences en lecture. Une tâche demandant simplement de nommer des lettres permet par exemple d'établir une distinction entre des lecteurs compétents et de faibles lecteurs (Wolf, 1986) ; elle permet aussi des prédictions fiables pour l'apprentissage de la lecture, et les enfants et adolescents dyslexiques sont moins rapides et moins précis dans de telles tâches (Wolf, 1986 ; Semrud-Clikeman, & al., 2000). De même, les progrès réalisés en lecture par des dyslexiques adultes sont positivement corrélés à la rapidité avec laquelle ils parviennent à nommer les lettres. Aussi semble-t-il pertinent de s'intéresser à la spécificité du traitement de ces unités, par rapport à des tracés relevant de catégories non alphabétiques (dessins d'objets, symboles...). Le traitement d'une lettre présentée en dehors d'un mot fait-il l'objet d'une dominance hémisphérique gauche ? La lettre est-elle traitée d'un point de vue graphique, de manière spatiale, sans que sa catégorie, alphabétique et langagière, exerce une influence ?

Peu de données permettent de répondre à cette question. Il semble toutefois que cela dépende, encore une fois, des demandes de la tâche, celle-ci mettant en effet plus ou moins l'accent sur l'aspect alphabétique ou sur des aspects purement visuo-spatiaux.

L'importance des demandes de la tâche orientant plus ou moins sur la prise en compte de l'aspect linguistique ou spatial des lettres, a été mise en évidence dès 1979 par Niederbuhl et Springer (1979), dont nous avons déjà évoqué le travail dans le chapitre 1 (partie 3.1.). L'asymétrie hémisphérique observée dans leur épreuve de traitement de lettres est très dépendante de la consigne, qui demande de se baser sur la forme des stimuli ou sur leur nom pour effectuer un jugement.

Dans des recherches ultérieures, les différences de traitement de lettres selon le champ visuel ont été interprétées comme des différences de mode de distribution de l'attention sur des lettres. Quelques travaux portent en effet sur l'identification de lettres

présentées par triplets ne formant pas un mot. Par exemple, Eng et Hellige (1994, Expérience 1) ont ainsi présenté des triplets de lettres organisés verticalement en champ visuel gauche ou droit et ont observé une meilleure identification des lettres en CVD-HG qu'en CVG-HD, qu'elles forment ou non une syllabe prononçable. Ce résultat a été ensuite répliqué, toujours avec des triplets de lettres orientés verticalement, et ceci que la consigne impose un sens de lecture de haut en bas ou de bas en haut (Hellige & Scott, 1997). L'analyse précise des réponses montre que l'attention est distribuée différemment sur les lettres dans l'un et l'autre champs visuels : elle est distribuée de manière plus rapide et homogène sur l'ensemble des lettres dans le CVD-HG, permettant une identification plus exhaustive des trois lettres. Les meilleures performances dans ce champ visuel sont donc ici interprétées comme le reflet d'un mécanisme attentionnel engagé de manière différente sur un matériel linguistique selon l'hémisphère auquel l'information est le plus directement adressée.

En dehors de la simple interrogation sur l'implication respective des hémisphères pour le traitement des lettres, des recherches essentiellement conduites en imagerie cérébrale ont tenté de découvrir si des aires spécialisées du cerveau prennent en charge cette catégorie de stimuli. Une région a été isolée comme étant spécifiquement impliquée dans le traitement des lettres. Il s'agit de la VWFA (*Visual Word Form Area*), initialement définie comme une aire de traitement de la forme visuelle des mots ; le rôle de cette région, souvent décrit comme double, reste difficile à interpréter. Des données en IRMf ont permis de situer cette structure anatomo-fonctionnelle dans le gyrus fusiforme médian gauche et son activation est associée à une onde négative enregistrée 180 à 200 ms après la stimulation, au niveau des électrodes temporales inférieures gauches ; des données obtenues avec présentation en champ visuel divisé et recueillies auprès de patients atteints d'une lésion du corps calleux, confirment la stricte latéralisation gauche de cette région et de cette compétence (Cohen, & al., 2000). Son activation serait spécifique au traitement de mots perçus visuellement, puisqu'elle n'est pas provoquée par leur présentation en modalité auditive (Dehaene, Le Clec'H, Poline, Lihan, & Cohen, &, 2002), ni par la présentation de damiers (Cohen, Lehericy, Chokhon, Lemer, Rivaud, Dehaene &, 2002), et l'ablation chirurgicale d'une partie de cette zone chez un patient s'est traduite par d'importants troubles de la lecture, alors que la reconnaissance de visages, de bâtiments ou d'outils reste performante (Gaillard, & al., 2006).

Contrairement à ce que son nom pourrait faire croire, cette structure ne permettrait pas la reconnaissance du mot en tant qu'exemple d'une représentation visuo-orthographique familière et ne ferait donc pas intervenir de connaissances sur la forme visuelle de mots déjà rencontrés : elle interviendrait à un niveau pré-lexical, comme le montre son activation pour des mots comme pour des pseudo-mots légaux. Elle se limiterait à extraire une représentation abstraite de la suite de lettres en prenant en compte leur position précise. Pré-lexicale, son intervention serait suffisamment précoce pour être provoquée par la présentation subliminale du mot ; elle se démarquerait toutefois des traitements visuels les plus élémentaires, puisqu'elle est insensible à la position de l'image sur la rétine et à des caractéristiques de surface telles que la police de caractères, leur forme majuscule ou minuscule et leur taille (pour une revue, voir McCandliss, Cohen, & Dehaene &, 2003). La latéralisation gauche de cette région

fondamentale pour le traitement linguistique de lettres est un élément fortement susceptible de contribuer à l'observation d'une dominance de l'HG dans des épreuves imposant un traitement verbal sur ces petites unités.

Toutefois, deux nuances sont à apporter. La première concerne le caractère pré-lexical des traitements sous-tendus par la VWFA, remis en cause par les données de Kronbichler, Hutzler, Heinz Wimmer, Mair, Staffen, & Ladurner, (2004) en IRMf : alors que d'autres auteurs montraient des activations similaires de cette structure pour des mots écrits fréquents et des mots plus rares (Fiebach, Friederici, Muller, & Von Cramon, 2002 ; Fiez, Balota, Raichle, & Petersen, 1999) ou des pseudo-mots (Dehaene, & al., 2002), Kronbichler et ses collègues ont montré qu'elles variaient selon la fréquence lexicale testée en cinq niveaux : cela ne remet pas en cause le rôle de cette région pour le traitement des lettres, mais souligne sa modulation par des aspects lexicaux et donc de plus haut niveau. Le deuxième point, plus important pour notre propos, concerne la double compétence décrite pour cette région : elle traiterait d'une part les lettres à un niveau abstrait permettant de les catégoriser par opposition à d'autres classes d'objets et utiliserait d'autre part ce code des lettres pour construire la forme visuelle du mot.

Bien qu'il soit difficile de dissocier des régions cérébrales dédiées sélectivement à l'un ou l'autre mécanisme, un ensemble de données montre que la VWFA est impliquée dans le traitement de simples lettres. En conduisant une étude en TEP, Garrett et ses collègues (2000) avaient déjà montré que l'exactitude des réponses dans une tâche de distinction des lettres parmi des non-lettres était corrélée à l'activation d'une partie du cortex extra-strié gauche (BA37) chez les bons lecteurs. Polk et ses collègues (2002) montrent aussi une telle activation spécifique aux lettres par rapport à des chiffres en IRMf, et l'analyse des données en imagerie de Pernet, Celsis et Démonet (2005) confirment encore que seule les lettres ayant un statut alphabétique pour les sujets (lettres latines vs. lettres coréennes) activent cette région, uniquement dans l'HG. De même, comparant les activations cérébrales en IRMf associées au traitement de logogrammes et de phonogrammes, Nakamura et ses collègues (2005) observent eux aussi l'activation gauche de cette région uniquement pour les unités ayant un véritable statut alphabétique (*i. e.*, phonogrammes). L'interprétation restait toutefois difficile, parce qu'une autre recherche montrait des activations réparties de manière très proche dans cette région (quoique non tout à fait superposables) aussi bien par des lettres que des dessins d'objets (Joseph, Gathers, & Piper, 2003). Flowers et ses collègues (2004) sont cependant les premiers à avoir étudié systématiquement la spécificité du support neuroanatomique de traitements de nature langagière sur des lettres dans la région occipito-temporale gauche, en faisant varier la focalisation de l'attention sur les aspects linguistiques ou non-linguistiques des lettres (s'agit-il de lettres ? de symboles ? quelle est leur couleur ?). Les données ont tout d'abord montré des réponses plus rapides dans la tâche avec consigne alphabétique : les adultes bons lecteurs présentent donc une habileté particulière pour le traitement des lettres en tant que lettres et cela s'accompagne d'activations cérébrales dans une partie du cortex extra-strié gauche (BA 37), située dans une région plus latérale et antérieure que la VWFA. Cette aire n'est cependant pas activée lorsque la consigne oriente sur une prise en compte non linguistique des lettres. Les auteurs considèrent cette région comme spécifique au mécanisme de traitement des

lettres.

Ces données contribuent donc à décrire une région latéralisée à gauche et strictement dédiée au traitement linguistique des lettres, tout au moins chez l'adulte, témoignant de la qualité de la plasticité cérébrale, qui permet l'établissement tardif d'une spécialisation hémisphérique pour une catégorie qui ne se définit que sur le plan culturel (notamment dans son opposition avec les lettres, Polk & Farah, 1998, Polk, & al., 2002).

4.2. Traitement spécifique des lettres chez les enfants

Chez les enfants, signalons tout d'abord que le traitement de mots écrits semble faire l'objet d'une dominance de l'HG dès les premières années d'école primaire. Il s'agit ici de mots, et non de simples lettres, mais il est tout de même intéressant de constater que ceux-ci conduisent très tôt à un engagement préférentiel de régions cérébrales situées dans un hémisphère a priori dominant pour les activités langagières : très tôt, le mot écrit est traité différemment des autres dessins. Lim et Jin (1998) l'ont récemment montré en utilisant une procédure de présentation rapide en champ visuel divisé, chez des enfants de 7-8, 10 ans et 13 ans. Ils montrent que, dans une tâche simple de go/no-go, les enfants de ces trois tranches d'âge (et donc, dès 7 ans) présentent une dominance de l'HG pour le traitement des mots écrits. Cette dominance persiste malgré l'augmentation des ressources requises par la tâche (discrimination dans l'Expérience 2, catégorisation dans l'Expérience 3) chez les deux groupes les plus jeunes, mais pas chez les enfants de 13 ans. La dominance hémisphérique gauche pour le traitement des mots écrits est donc présente chez l'enfant dès 7 ans, elle est même alors observée de manière très régulière. Avec l'âge cette dominance devient plus vulnérable à des facteurs tels que les demandes de la tâche, ce qui s'explique sans doute par le développement de processus attentionnels permettant des influences de haut niveau sur les mécanismes perceptifs plus élémentaires.

Pour ce qui est du traitement de simples lettres, les premiers travaux ne sont pas vraiment parvenus à des résultats homogènes. Par exemple, aucune véritable dominance hémisphérique pour le traitement de lettres n'a été observée dans les expériences de présentation en champ visuel divisé décrites par Broman (1978) qui propose des couples de lettres ou de photographies de visages à des enfants droitiers de 7, 10 et 13 ans et à des adultes. L'analyse de l'exactitude des réponses, tous âges confondus, montre un avantage net de l'HD pour les visages, mais aucune dominance hémisphérique pour le traitement des lettres. L'ensemble de ces expériences montre tout de même que l'implication de certains mécanismes latéralisés s'opère différemment pour l'un et l'autre type de matériel. L'étude précise des effets de champ visuel, de manière intra-individuelle, a permis de préciser que, si la dominance de l'HD pour le traitement des visages reste stable entre 7 ans et l'âge adulte, le traitement des lettres fait quant à lui l'objet d'un changement de dominance entre 7 ans (avantage en CVG-HD) et l'âge adulte (avantage en CVD-HG), même si ce changement n'atteint pas tout à fait le seuil de significativité.

Les auteurs estiment que l'absence de véritable dominance de l'HG pour le traitement des lettres pourrait être dû aux caractéristiques de la tâche, qui n'impose pas de traitement véritablement linguistique des stimuli ; le fait que cet avantage de l'HG soit

particulièrement peu marqué chez les enfants de 7 ans est cohérent avec cette interprétation, car ces jeunes sujets ont encore peu développé leur expérience du traitement des lettres en tant que matériel alphabétique (*i. e.*, linguistique). A l'appui de cette interprétation mettant en avant le rôle des demandes plus ou moins clairement linguistiques de la tâche, les travaux plus récents de Benoit-Dubrocard et Touche (1993) peuvent être cités. Ils tentent d'évaluer l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des lettres perçues en modalité tactile. Les données montrent que, pour les jeunes enfants, être capable d'encoder les lettres sur un mode linguistique joue un rôle dans l'engagement des mécanismes cérébraux latéralisés à gauche pour comparer des lettres, mais ce n'est pas encore un facteur déterminant. Même chez des enfants plus âgés, fortement droitiers manuellement et qui savent lire, la dominance hémisphérique gauche n'est pas systématique dans ce genre de tâche. Comme d'autres l'avaient auparavant dit pour des sujets adultes (Niederbuhl, & Stringer, 1979), les auteurs montrent que, chez les enfants aussi, la tâche doit orienter vers une prise en compte linguistique (plutôt que simplement spatiale) des stimuli, pour que des mécanismes latéralisés dans l'HG s'engagent pour traiter des lettres. Cela constitue un facteur encore plus déterminant que le niveau de lecture des enfants. Encore une fois, cela montre que des facteurs de haut niveau, reliés notamment aux demandes de la tâche, peuvent moduler l'implication de mécanismes cérébraux, latéralisés non seulement selon le niveau d'analyse d'un objet visuel complexe, mais aussi selon la nature linguistique ou non du matériel.

Nous pouvons répertorier quelques recherches ayant montré que le traitement de lettres isolées peut faire l'objet d'une dominance de l'HG chez des enfants, qui les traitent alors en tant que stimuli linguistiques. Les travaux de Von Aster et Remschmidt (1987) sur l'épilepsie ont par exemple montré chez les enfants sains contrôles une asymétrie hémisphérique fonctionnelle en faveur de l'HG pour le traitement de mots, mais aussi de lettres. Une étude longitudinale conduite entre 5 et 7 ans avec une épreuve de comparaison de lettres a également montré un avantage pour cette catégorie de stimuli en CVD-HG aussi bien à 5 qu'à 7 ans, alors qu'un groupe de garçons de 4 ans, qui ne savent pas encore nommer les lettres, présentent pour cette même épreuve un avantage en CVG-HD (Davidoff, & Done, 1984). Certains enfants pourraient donc très rapidement, dès qu'ils comprennent que les lettres ont un statut linguistique, les traiter comme un matériel langagier et s'appuyer pour cela sur des mécanismes spécialisés dans le traitement du langage, latéralisés depuis des années dans l'HG.

Enfin, sans permettre de se prononcer sur la spécialisation hémisphérique des mécanismes impliqués, certaines données comportementales suggèrent que des adolescents traitent bien les lettres sur un mode différent de celui appliqué à des dessins d'objets. Ainsi, dans une épreuve de rotation mentale de lettres tout à fait classique, proposée à des adolescents bons lecteurs ou dyslexiques, Rusiak, Lachmann, Jaskowski et van Leeuwen (2007) montrent des effets similaires de l'angle de rotation dans les deux groupes, qui ne présentent donc aucune différence quant aux mécanismes de rotation d'images mentales. Toutefois, les dyslexiques ont des performances nettement moins bonnes de manière générale dans cette épreuve, dans laquelle la tâche est de décider si la lettre présentée, dans des orientations variées, est standard ou en miroir. C'est pourquoi les auteurs pensent que ces adolescents présentent une difficulté pour effectuer

une décision correcte *après* la rotation, parce qu'il n'est pas facile pour eux de savoir si la lettre est standard ou en miroir. Alors que la reconnaissance de la plupart des dessins d'objets ne demande pas de tenir compte de l'orientation standard ou en miroir, il est important d'en tenir compte pour l'identification des lettres (e. g., différences entre b et d, ou entre p et q). Alors que les adolescents bons lecteurs ont appris à traiter les lettres de manière particulière concernant cet aspect visuo-spatial, les jeunes dyslexiques ne le font apparemment pas, traitent les lettres comme d'autres dessins, et commettent des erreurs lorsqu'ils doivent tenir compte de cet aspect dans l'expérience. Ces données montrent que le développement de l'expertise en lecture s'accompagne de la mise en place de mécanismes de traitement visuo-spatiaux spécialisés au traitement de ce matériel alphabétique.

Expérience 5

L'un des objectifs de cette thèse étant d'effectuer sur une approche développementale et neuropsychologique des processus visuo-attentionnels dans le traitement de stimuli hiérarchisés (lettres vs dessins), nous avons constitué à cet effet des groupes d'enfants normo-lecteurs du CP, CE2 et du CM2, à qui nous avons fait passer des formes abrégées des Expériences 1a, 1b et 3.

Nous avons proposé à chaque enfant utilisé deux épreuves de discrimination de cible dans des stimuli hiérarchisés, l'une avec des lettres, l'autre avec des dessins. Ce sont des formes abrégées des Expériences 1a et 1b utilisant le paradigme dit d'attention divisée et la présentation en champ visuel divisé.

Dans cette Expérience 5, nous espérons montrer que le processus de modulation exercé par les catégories sur le traitement des niveaux d'un objet visuel complexe devient progressivement possible chez les enfants, pendant la période où ils sont scolarisés en classes d'école primaire. Nous pensons en effet qu'il est déjà possible de relever des indices d'une dominance de l'HG pour le traitement du niveau local chez des enfants dès 6 ans, mais qu'il faudra attendre plus longtemps pour que cette asymétrie hémisphérique se retienne au seul cas de la catégorie des lettres hiérarchisées. Par ailleurs, étant donné que nous avons observé de meilleures performances pour les lettres que pour les dessins dans les expériences conduites auprès d'adultes, avec le même matériel, nous souhaitons étudier à partir de quand un tel avantage pour les stimuli alphabétiques apparaît, et nous vérifierons si cet avantage concerne plus précisément une aptitude à traiter particulièrement efficacement les lettres en tant que détails, comme cela devient nécessaire dans les situations de lecture. Aussi, nos hypothèses opérationnelles sont les suivantes.

Hypothèse opérationnelle 3a : *lorsqu'il s'agit de discriminer des cibles au niveau local de stimuli hiérarchisés, les performances des enfants seront meilleures pour les stimuli présentés en CVD-HG qu'en CVG-HD, et ceci dès l'âge de 6 ans*

Hypothèse opérationnelle 3b : *progressivement, après 6 ans, l'avantage de l'HG*

pour le traitement du niveau local devrait s'atténuer pour les dessins d'objets hiérarchisés, voire même donner lieu à un avantage de l'HD, alors que l'avantage de l'HG pour le traitement du niveau local des lettres hiérarchisées se maintiendrait.

Hypothèse opérationnelle 3c : *entre 6 ans et 10 ans, les enfants devraient améliorer leurs performances pour le traitement des stimuli hiérarchisées, suivant un effet classique de l'âge pendant l'enfance, mais cette amélioration devrait être plus nette pour les lettres hiérarchisées que pour les dessins d'objets hiérarchisés, et sans doute aussi plus particulièrement pour les lettres situées au niveau local des stimuli visuels complexes.*

1. Méthode

1.1. Participants

Soixante-douze enfants « normo-lecteurs » de langue maternelle française (aucun n'a plus de 9 mois de retard en lecture au Test de l'Alouette), scolarisés dans l'agglomération lyonnaise et non redoublants ont participé aux expériences avec l'accord de leurs parents, de l'Inspecteur de l'Académie, du chef d'établissement et de leur enseignant. Ils sont tous droitiers, avec plus de 80% de réponses désignant la main droite dans une version abrégée et adaptée du test de Edinburg (Olfield, 1971) et ont une vue normale ou corrigée.

Ces enfants sont repartis en trois groupes : 24 enfants, en CP (15 filles et 9 garçons ; âge moyen = 6 ans, 4 mois ; écart-type = 3 mois) ; 24 en CE2 (16 filles et 8 garçons ; moyenne d'âge = 8 ans 3 mois ; écart-type = 3 mois), 24 enfants en CM2 (11 filles et 13 garçons ; âge moyen = 10 ans, 3 mois ; écart-type = 4 mois). Avant les expériences, chacun a passé le test de l'Alouette, épreuve permettant de déterminer le niveau de lecture de l'enfant ou âge lexique. Selon ce critère dans notre échantillon, les enfants du CP ont un âge lexique de 6 ans 5 mois (écart-type = 1 mois), ceux du CE2, un âge lexique de 9 ans 3 mois, (écart-type = 3 mois) et ceux du CM2, un âge lexique de 10 ans 9 mois (écart-type = 4 mois).

1.2. Stimuli

Pour l'épreuve sur les lettres hiérarchisées, chaque enfant réalise la moitié de l'Expérience 1a proposée aux adultes et ne traite donc que 84 stimuli, correspondant au bloc A ou au bloc B de cette épreuve. Pour l'épreuve sur les dessins hiérarchisés, il réalise aussi la moitié de l'Expérience 1b et ne traite donc que le bloc A ou le bloc B. Cette adaptation était nécessaire compte tenu des capacités de concentration plus réduites des enfants, et aussi des contraintes scolaires.

1.3. Matériel et Procédure

Rappelons que les Expériences 1a et 1b sont chacune constituée de deux blocs (A et B) de sorte que les stimuli présentés dans le champ visuel droit en bloc A soient présentés dans le champ visuel gauche en bloc B et vice-versa. Dans chaque groupe d'enfants, la moitié des sujets commencent par l'Expérience 1a (Lettres, bloc A ou B dans des

proportions équivalentes), les autres par l'Expérience 1b (Dessins, bloc A ou B dans des proportions équivalentes). A travers l'ensemble des sujets de chaque groupe d'âge, nous avons fait varier systématiquement les différents ordres de passation possibles pour les blocs et les catégories afin de contrebalancer les effets d'ordre. Pour chaque niveau scolaire (CP, CE2 et CM2) les enfants ont ainsi été répartis en huit sous-groupes, comme présenté dans le Tableau 3.

Tableau 3. Répartition des enfants selon les épreuves et les blocs dans l'Expérience 5.

Ordre des épreuves et blocs	Nombre d'enfants dans chaque groupe
Dessin A puis lettre A	3
Dessin A puis lettre B	3
Dessin B puis lettre A	3
Dessin B puis lettre B	3
Lettre A puis dessin A	3
Lettre A puis dessin B	3
Lettre B puis dessin A	3
Lettre B puis dessin B	3

Les consignes et conditions de passation sont identiques à celles proposées aux adultes. Étant donné que des formes abrégées ont été utilisées pour les groupes d'enfants, chaque passation durait 15 minutes.

2. Résultats

Deux analyses de la variance à mesures répétées ont été effectuées, l'une sur les latences pour les réponses exactes et l'autre sur les pourcentages d'erreurs, avec le facteur inter-individuel groupe : (CP, CE2 et CM2) et 4 facteurs intra-individuels : la catégorie (lettre, dessin), le champ visuel de présentation (CVG-HD, CVD-HG), le niveau d'apparition de la cible (global, local) et le nombre de répétitions avant le changement de niveau (2 répétitions *versus* 4 répétitions). Les temps déviants (supérieurs à la moyenne de la condition considérée plus deux écarts-types ou inférieurs à cette moyenne moins deux écarts-types) ont été exclus de l'analyse. Nous avons ensuite effectué des analyses séparées pour chaque groupe afin de mieux apprécier pour chaque tranche d'âge l'effet des facteurs intra-individuels.

L'analyse globale sur les TR montre un effet du groupe, $F(2, 69) = 9.80, p = .0002$. Nous constatons que la vitesse moyenne de réponse s'accélère avec l'âge, particulièrement, entre le CP (1628 ms) et le CE2 (1406 ms), $F(2, 69) = 9.012, p = .004$, mais de manière non significative entre le CE2 et le CM2 (1313 ms), $F(2, 69) = 2.53, p = .1161$ (Figure 44).

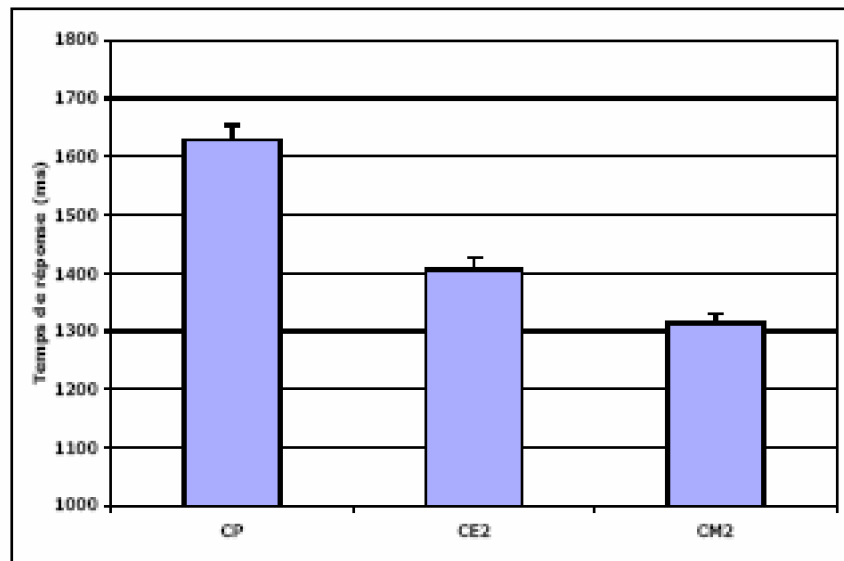


Figure 44. Temps de réponses et erreurs standard selon le groupe dans l'Expérience 5.

Nous notons aussi un effet du niveau, $F(1, 69) = 7.11$, $p = .009$, reflétant un avantage du niveau local (1419 ms) sur le niveau global (1479 ms) alors que la difficulté des niveaux semblait bien équilibrée chez les adultes. La catégorie n'exerce pas d'effet principal et l'interaction Niveau X Catégorie n'atteint pas non plus le seuil de significativité, $F(1, 69) = 2.13$, $p = .1493$. Nous proposons cependant l'examen de la Figure 45 représentant cette interaction car elle éclaire en partie l'origine du surprenant avantage du niveau local sur le niveau global : cet avantage est essentiellement dû aux lettres hiérarchisées, $F(1, 69) = 8.08$, $p = .006$ et il est très faible sur les dessins hiérarchisés, $F(1, 69) < 1$.

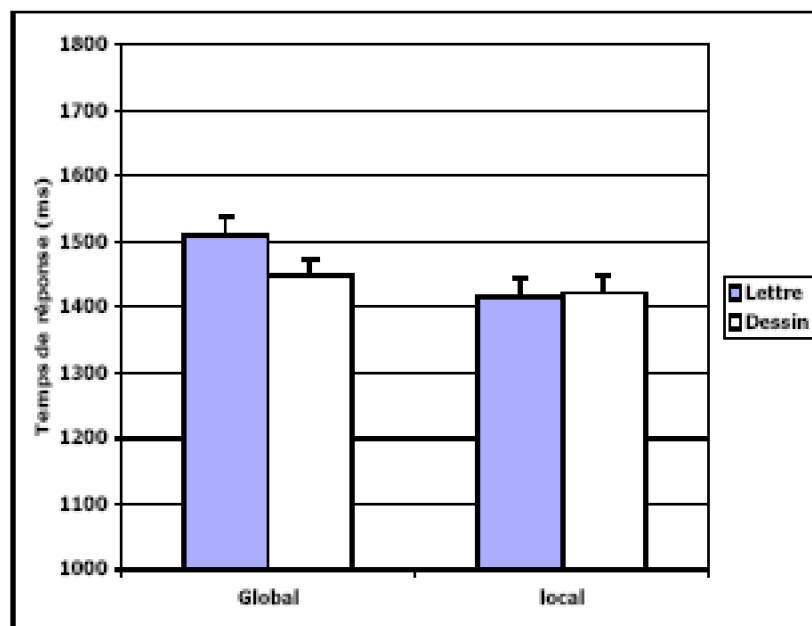


Figure 45. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le niveau dans l'Expérience 5.

Le nombre de répétitions avant un changement de niveau affecte les TR, plus rapides lorsque ce changement survient après 2 répétitions (1406 ms) plutôt qu'après 4 répétitions (1493 ms), $F(2, 69) = 20.95$, $p = .0001$ et ce facteur n'interagit avec aucun autre. L'interaction Niveau X Champ n'atteint pas le seuil de significativité, $F(1, 69) = 1.48$, $p = .228$ sur l'ensemble des enfants, et ne varie pas significativement non plus selon la catégorie ni l'âge des enfants. La Figure 46 présente cependant son évolution avec l'âge, de manière à permettre la comparaison ultérieure de la configuration des résultats avec des effets plus nets relevés sur les taux d'erreurs (Figure 48).

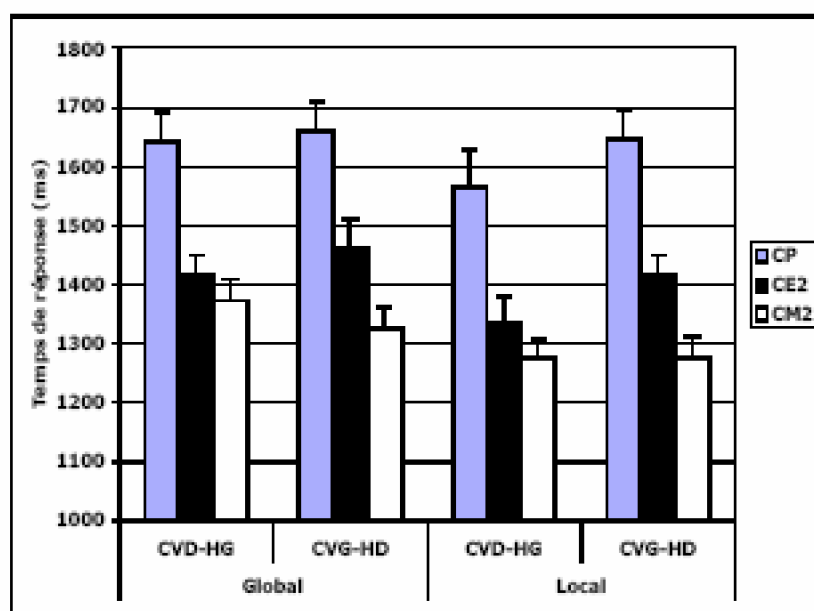


Figure 46. Temps de réponses et erreurs standard selon le champ visuel et le niveau d'apparition de la cible pour chaque groupe d'enfants dans l'Expérience 5.

L'analyse globale des taux d'erreurs montre elle aussi un effet du groupe, $F(2, 69) = 5.09$, $p = .008$. Comme l'illustre la Figure 47, le pourcentage d'erreurs diminue progressivement, de manière faible et non significative entre le CP (13.76%) et le CE2 (11.50%), ($F < 1$), puis de manière plus marquée entre le CE2 et le CM2 (6.64%), $F(2, 69) = 4.59$, $p = .035$.

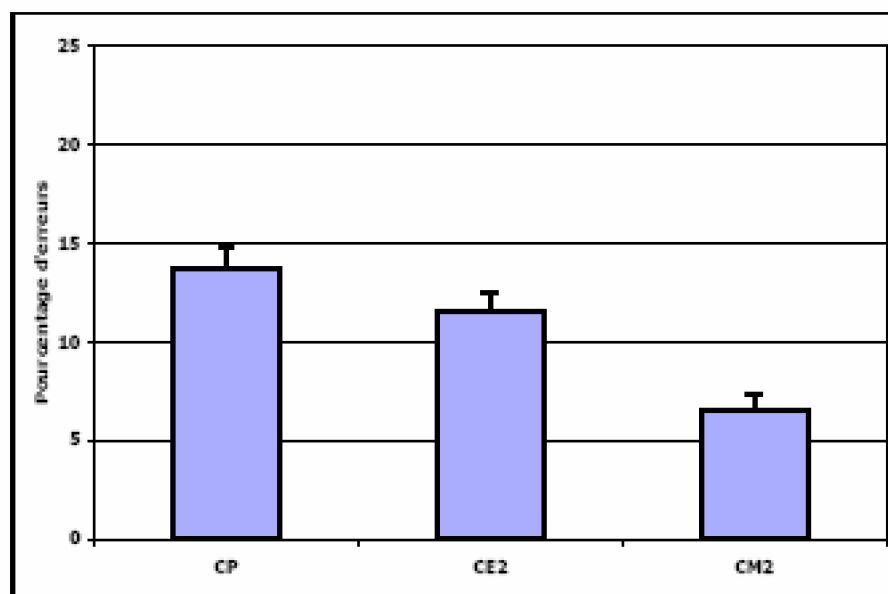


Figure 47. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le groupe dans l'Expérience 5.

Nous relevons un effet de la catégorie, $F(1, 69) = 6.64$, $p = .013$, avec moins d'erreurs pour les lettres (9%) que pour les dessins (12.97%). L'effet du champ est aussi significatif, $F(1, 69) = 6.27$, $p = .014$, avec davantage d'erreurs pour les stimuli présentés dans le CVG-HD (11.95%) que dans le CVD-HG (9.32%), mais le champ visuel et la catégorie n'interagissent pas. Enfin, l'interaction Niveau X Champ n'est pas significative ($F < 1$), mais l'interaction Niveau X Champ X Groupe l'est, $F(1, 69) = 3.93$, $p = .024$. Comme l'illustre la Figure 48, la dominance de l'HG sur l'HD pour le traitement du niveau local est présente chez les enfants les plus jeunes, ce qui confirme la tendance observée sur les CP et CE2 pour la moyenne des TR (Figure 46). Cette dominance de l'HG au niveau local perd ensuite progressivement son impact, l'effet disparaissant pour l'exactitude dès le CE2 et à la fois pour l'exactitude et la vitesse des réponses en CM2.

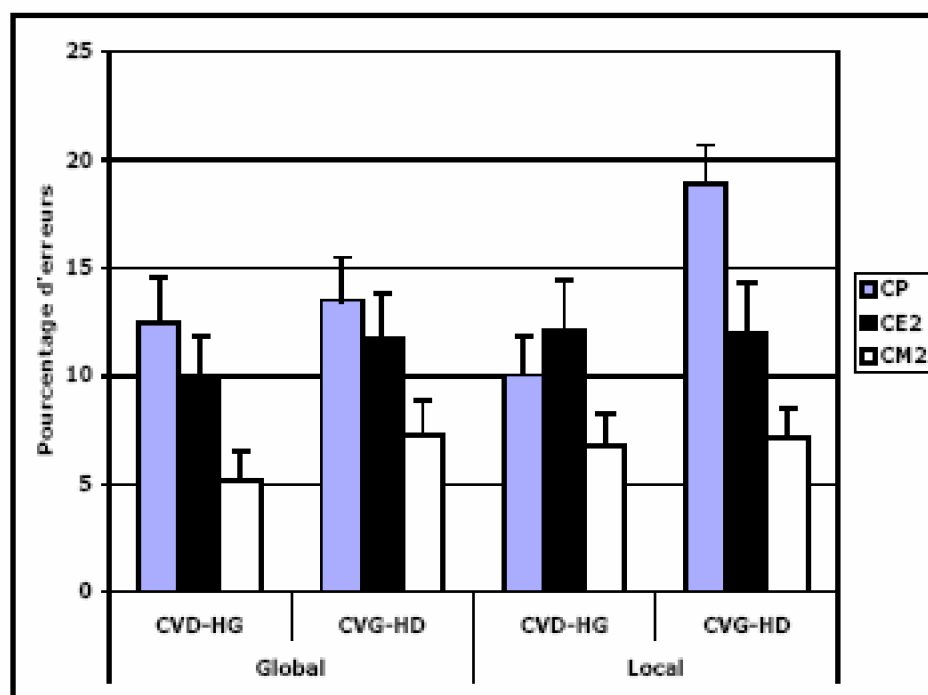


Figure 48. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ visuel et le niveau d'apparition de la cible pour chaque groupe d'enfants dans l'Expérience 5.

Les analyses complémentaires, réalisées séparément sur chaque groupe, permettront de préciser comment évolue cette asymétrie de la dominance hémisphérique et surtout si sa disparition progressive pour le traitement du niveau local masque un autre phénomène : la modulation de la dominance hémisphérique pour les niveaux d'analyse, selon la catégorie du stimulus.

Chez les enfants de CP, l'analyse des temps de réponse et des taux d'erreurs ne fait pas ressortir d'effet principal du niveau, ($F < 1$), alors qu'il est significatif pour les TR sur l'ensemble des enfants. En CP, les degrés de difficultés pour les deux niveaux semblent donc plutôt bien équilibrés. Par contre, l'exactitude des réponses des enfants de CP est déjà affectée par le champ visuel de présentation, avec moins d'erreurs en CVD-HG (11.28%) qu'en CVG-HD (16.23%), $F(1, 23) = 9.00$, $p = .006$. Cet effet reflète la dominance générale de l'HG dans cette épreuve pour l'ensemble des enfants. La plus grande précision de réponses pour la discrimination des lettres que des dessins, relevée sur l'ensemble des enfants, se confirme elle aussi dès le CP, avec moins d'erreurs pour les lettres (11.98%) que pour les dessins (15.54%), $F(1, 23) = 4.44$, $p = .046$.

L'interaction Niveau X Champ est significative sur les pourcentages d'erreurs, $F(1, 23) = 6.13$, $p = .021$. L'analyse des contrastes montre qu'elle reflète deux phénomènes, illustrés en Figure 49. Tout d'abord, les cibles au niveau local sont mieux discriminées en CVD-HG qu'en CVG-HD, $F(1, 23) = 15.75$, $p = .0006$, ce qui n'est pas le cas pour les cibles au niveau global ($F < 1$). Par ailleurs, dans le CVG-HD, le niveau global est mieux traité que le niveau local, $F(1, 23) = 5.82$, $p = .024$, ce qui n'est pas le cas dans l'autre champ $F(1, 23) = 1.19$, $p = .2873$. L'interaction Niveau X Champ n'est pas significative

sur les TR ($F < 1$), mais la comparaison entre les Figure 49 et Figure 50 montre qu'il n'y a pas, sur ce point, d'échange rapidité/exactitude, l'avantage de l'HG pour le traitement du niveau local étant apparent (bien que non significatif sur les TR) sur l'une et l'autre variables dépendantes. Signalons également que le facteur catégorie n'affecte pas l'interaction Niveau X Champ, quelle que soit la variable dépendante : ($F < 1$, sur les TR et les pourcentages d'erreurs, pour l'interaction Catégorie X Niveau X Champ).

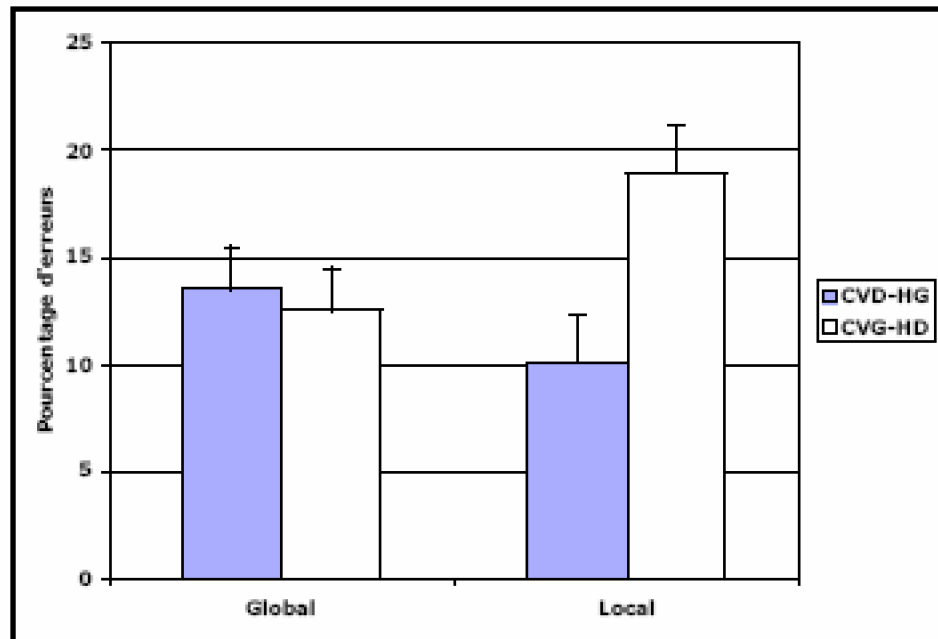


Figure 49. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 5, pour les enfants de CP.

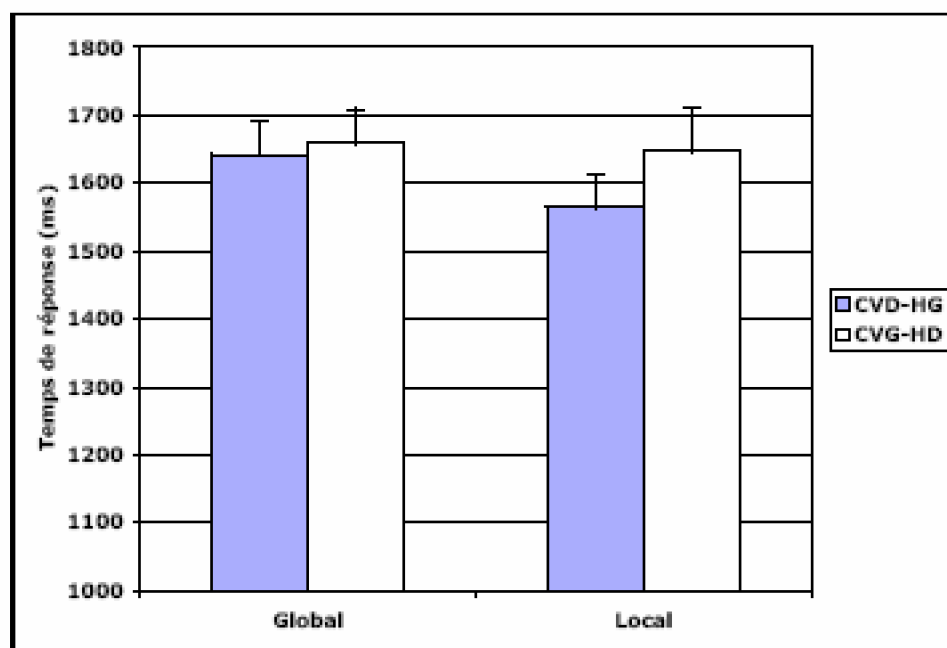


Figure 50. Temps de réponses et erreurs standard selon le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 5.

Concernant l'effet du nombre de répétitions avant un changement de niveau, les enfants de CP lui sont modérément sensibles : alors que ce facteur a un effet significatif sur les TR de l'ensemble des enfants, les latences sont plus courtes en condition 2 répétitions (1586 ms) qu'en condition 4 répétitions (1670 ms) sans atteindre le seuil de significativité, $F(1, 23) = 3.42$, $p = .08$. Enfin, l'interaction Répétition X Champ n'est pas significative non plus, $F(1, 23) < 1$.

Chez les enfants de CE2, les réponses s'illustrent surtout par une accélération massive par rapport à celles des enfants de CP. L'effet du champ visuel de présentation a disparu car l'avantage général de l'HG s'est beaucoup amenuisé. Le facteur niveau n'affecte toujours pas les performances de manière significative pour les TR, $F(1, 23) = 2.60$, $p = .12$ et l'avantage des lettres sur les dessins n'est plus présent sur les pourcentages d'erreurs ($F < 1$).

Toutefois, ces deux derniers facteurs, niveau et catégorie, tendent fortement à interagir, $F(1, 23) = 3.77$, $p = .065$ sur les TR ce qui n'est pas le cas en CP. Comme retracé en Figure 51, un avantage du niveau local sur le niveau global se manifeste exclusivement pour les lettres, $F(1, 23) = 5.68$, $p = .026$, et pas pour les dessins, ($F < 1$), alors que les dessins sont traités plus rapidement que les lettres au niveau global, $F(1, 23) = 4.69$, $p = .041$, mais pas au niveau local ($F < 1$). Cet avantage pour les petites lettres n'était pas présent en CP.

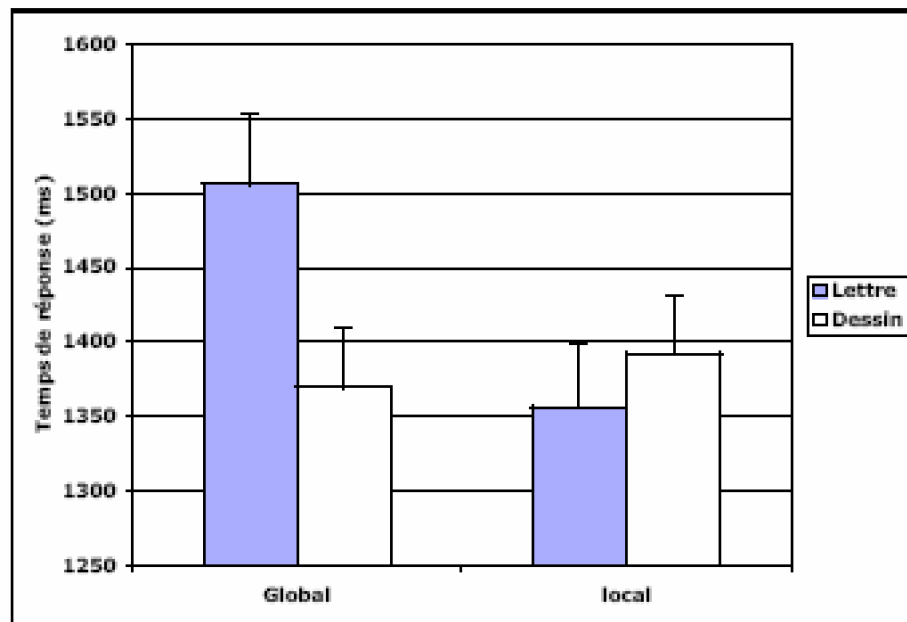


Figure 51. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le niveau dans l'Expérience 5 chez les enfants de CE2.

Enfin, contrairement aux données des enfants de CP, l'interaction Niveau X Champ sur les taux d'erreurs n'est plus significative. En CE2, l'avantage de l'HG pour la discrimination des cibles locales a disparu, comme le montre la Figure 52, et si elle est toujours apparente sur les TR (Voir Figure 46), c'est encore de manière non significative. Étant donné que, chez les adultes, l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux est modulée par la catégorie, nous avons examiné les résultats afin de discerner une éventuelle émergence de ce phénomène.

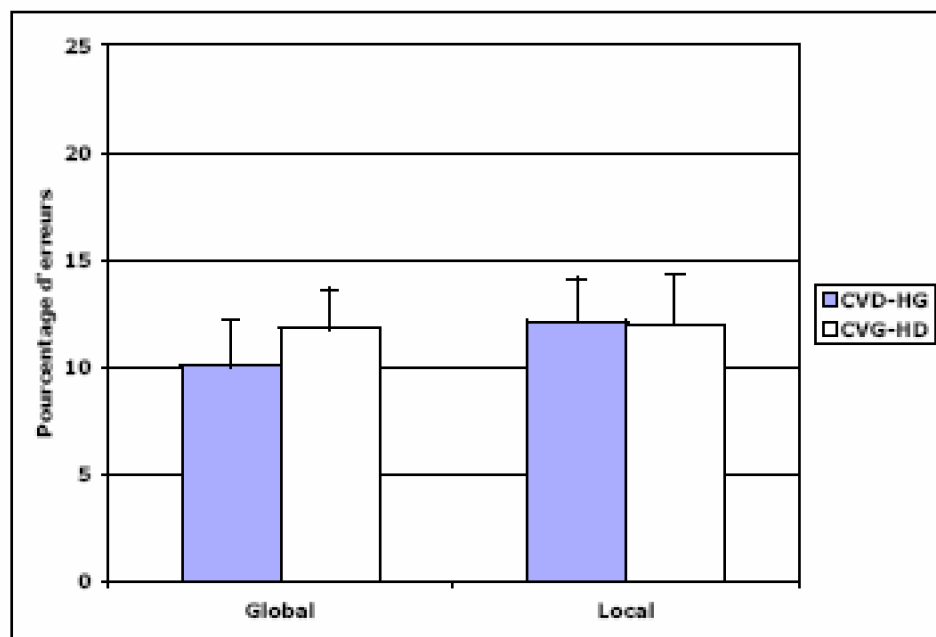


Figure 52. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 5 chez les enfants de CE2.

En CE2, l'interaction Niveau X Champ X Catégorie n'est significative sur aucune variable dépendante (temps de réponse et pourcentage d'erreurs), ce qui ne permet pas d'interpréter de manière fiable les comparaisons de moyennes issues de cette interaction. Nous observons toutefois que, parmi toutes ces comparaisons, une seule ressorte de manière significative sur les TR : l'avantage du niveau local sur le niveau global en CVD-HG dans le seul cas des lettres, $F(1, 23) = 4.28$, $p = .050$. Nous verrons si ce phénomène se stabilise chez les enfants plus âgés.

Concernant l'effet du nombre de répétitions avant un changement de niveau, les enfants de CE2 lui sont plus sensibles que les enfants de CP : les TR étant significativement affectés par ce facteur, $F(1, 23) = 12.65$, $p = .002$, avec des latences plus courtes en condition 2 répétitions (1354 ms) qu'en condition 4 répétitions (1458 ms). Mais il n'y a toujours pas d'interaction Contexte X Champ, $F(1, 23) = 1.85$, $p = .19$.

Chez les enfants de CM2, les performances s'améliorent encore, mais surtout pas leur exactitude. Comme en CE2, il n'y a plus d'effet principal du champ visuel de présentation, mais l'effet de la catégorie est significative comme au CP, avec moins d'erreurs pour les lettres (4.95%) que pour les dessins (8.34%). L'effet du niveau devient significatif sur les TR, $F(1, 23) = 6.38$, $p = .019$, avec un avantage pour le niveau local (1277 ms) sur le niveau global (1349 ms), avantage qui n'est plus réservé aux lettres puisqu'il n'y a plus d'interaction Niveau X Catégorie. Comme en CE2, l'interaction Niveau X Champ n'est significative sur aucune variable dépendante. Cependant, l'interaction Catégorie X Niveau X Champ devient significative sur les taux d'erreurs, $F(1, 23) = 5.34$, $p = .03$. Comme cette interaction, représentée Figure 53, reflète l'émergence d'une inversion de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement du niveau local selon la catégorie des stimuli. Alors que l'avantage de l'HG pour le niveau local est significatif pour les lettres, $F(1, 23) = 4.41$, $p = .047$, un avantage de l'HD pour ce même niveau local se profile pour les dessins, sans être toutefois significatif, $F(1, 23) = 1.96$, $p = .175$. De plus, bien que l'interaction Catégorie X Niveau X Champ ne soit pas significative sur les TR, nous observons que, comme en CE2, une seule comparaison de moyennes issue de cet ensemble de facteurs atteint le seuil de significativité : comme dans le groupe précédent, les réponses sont plus rapides au niveau local qu'au niveau global dans le seul CVD-HG, ceci exclusivement pour les lettres, $F(1, 23) = 6.33$, $p = .019$, et pas pour les dessins, $F(1, 23) = 3.02$, $p = .095$. Ce résultat est cohérent avec l'émergence d'une modulation du rôle particulier de l'HG dans le traitement du niveau local selon la catégorie des stimuli.

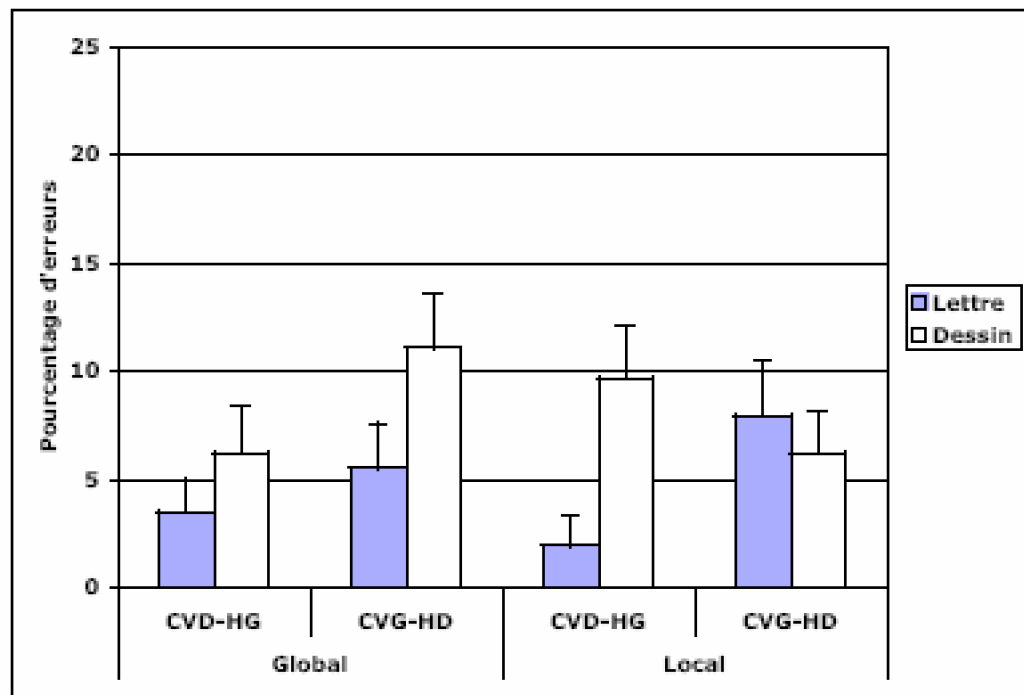


Figure 53. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon la catégorie, le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 5, chez les enfants de CM2.

Enfin, comme chez les enfants du groupe de CE2, les réponses sont plus rapides si un changement de niveau intervient après 2 répétitions (1249 ms) plutôt que 4 répétitions (1429 ms), $F(1, 23) = 15.19$, $p = .001$, mais ce facteur n'interagit toujours pas avec le champ visuel de présentation.

Expérience 6

Cette épreuve, identique à celle que nous avons proposée aux adultes dans l'Expérience 4, est testée ici auprès d'enfants entre 6 et 10 ans. Etant donné leur jeune âge, et surtout le contexte scolaire dans lequel ils sont testés, chacun ne réalise cependant la tâche que sur une catégorie de stimuli (lettres ou dessins d'objets hiérarchisés). L'objectif est essentiellement d'étudier la mise en place de capacités à inhiber l'information située à un niveau désigné comme non pertinent par la consigne : l'enfant est donc invité à sélectionner un mode d'analyse et doit ignorer l'information située à l'autre niveau. Nous avons montré que cela n'est possible, même chez l'adulte, que dans une certaine mesure, car des phénomènes d'interférence se produisent. Nous prédisons donc que les performances des enfants, comme celles des adultes, seront perturbées dans les conditions « pièges », pour lesquelles le stimulus hiérarchisé contient une cible au niveau pertinent mais aussi la cible concurrente à l'autre niveau. De plus, nous pensons que les mécanismes attentionnels permettant d'inhiber l'information sont distincts selon le niveau auquel se situe cette information et nous prédisons que le mécanisme permettant

d'inhiber l'information située au niveau global est mature plus tôt que celui qui permet d'inhiber l'information de niveau local. Aussi, l'asymétrie de l'interférence observée classiquement chez l'adulte, et reproduite dans notre Expérience 4, devrait s'établir peu à peu entre 6 et 10 ans, pour donner lieu, chez les plus âgés, à une plus faible perturbation par l'information non pertinente si celle-ci est issue du niveau local plutôt que du niveau global. Notre hypothèse opérationnelle est donc la suivante.

Hypothèse opérationnelle 3d : *Entre 6 et 10 ans, les enfants sont de moins en moins perturbés par l'information concurrente située au niveau devant être ignoré, mais les capacités d'inhibition d'information issue du niveau global atteignent rapidement un palier, alors que l'inhibition d'informations issues du niveau local continue à se développer plus longuement. Aussi, chez les enfants de 10 ans, nous attendons une asymétrie de l'interférence proche de celle repérée chez les adultes, avec une moindre perturbation par l'information à inhiber si elle est issue du niveau local plutôt que du niveau global.*

1. Méthode

1.1. Participants

Cent-quarante-quatre enfants droitiers et scolarisés dans l'agglomération lyonnaise ont participé à l'Expérience. Aucun n'a redoublé une classe et tous présentent un bon score au test de l'Alouette (moins de 9 mois de retard en lecture par rapport à la norme). Ils se répartissent en trois groupes selon leur classe : 48 enfants du CP (moyenne d'âge = 6;5 ans ; écart-type = 3 mois), 48 du CE2 (moyenne d'âge = 8 ;4 ans ; écart-type = 3 mois) et 48 du CM2 (moyenne d'âge = 10 ;5 ans ; écart-type = 2 mois). Ces enfants sont tous droitiers (80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh, Olfield, 1971). Ils ont participé à cette expérience avec l'accord des parents, du chef d'établissement, des enseignants et de l'Inspection Académique.

1.2. Stimuli, matériel et procédure

Les stimuli, le matériel informatique et la procédure sont les mêmes que l'Expérience 3 des adultes. Etant donnée la longueur de l'épreuve complète, peu adaptée au testing en milieu scolaire, chaque enfant a réalisé l'épreuve sur seulement deux blocs, c'est-à-dire seulement sur les lettres ou seulement sur les dessins, avec un bloc demandant de se focaliser au niveau global et l'autre au niveau local. Dans chaque groupe d'âge, 24 enfants passent l'épreuve sur les lettres et les 24 autres enfants la passent sur les dessins. De plus, une moitié des enfants passent l'épreuve en focalisant leur attention au niveau global puis au niveau local et l'autre moitié dans le sens inverse. L'expérience dure environ 20 minutes.

2. Résultats

Nous avons réalisé tout d'abord une analyse de variance à mesures répétées générale sur les latences pour les réponses exactes, d'une part, et sur les pourcentages d'erreurs

d'autre part, avec deux facteurs inter-individuels, catégorie (lettre, dessin) et groupe (CP, CE2, CM2) et trois facteurs intra-individuels : le champ visuel de présentation (CVD-HG, CVG-HD), le niveau (global, local), et l'interférence (piège, contrôle). Nous avons exclu de l'analyse, les temps supérieurs à la moyenne plus deux écarts-types et inférieurs à la moyenne moins deux écarts-types. Pour décrire les résultats plus précisément, des analyses complémentaires ont été réalisées pour chacun des groupes d'enfants.

L'analyse générale des TR révèle un effet du groupe, $F(2, 138) = 51.52, p = .0001$, avec une accélération des vitesses moyennes de réponse entre le CP et le CE2, $t(1, 47) = 5.41, p = .0001$, et entre le CE2 et le CM2, $t(1, 47) = 4.38, p = .0001$. Un effet significatif du niveau apparaît avec un avantage du niveau global (882 ms) sur le niveau local (1034 ms), $F(1, 138) = 216.64, p = .0001$, et bien que l'interaction Niveau X Groupe soit significative, $F(2, 138) = 3.95, p = .0214$, les analyses conduites par groupe confirment cet avantage du niveau global sur chaque groupe, en CP, $F(1, 46) = 86.12, p = .0001$, en CE2, $F(1, 46) = 92.05, p = .0001$ et en CM2, $F(1, 46) = 52.46, p = .0001$, l'effet étant toutefois plus marqué en CP (différence = 189 ms) qu'en CE2 (différence = 148 ms) ou en CM2 (différence = 120 ms) (voir Figure 54). Un test de Student montre que l'avantage du niveau global (différence de TR entre ces deux conditions) est plus par ailleurs marqué en CE2 qu'en CM2, $t(1, 47) = 4.176, p = .0001$.

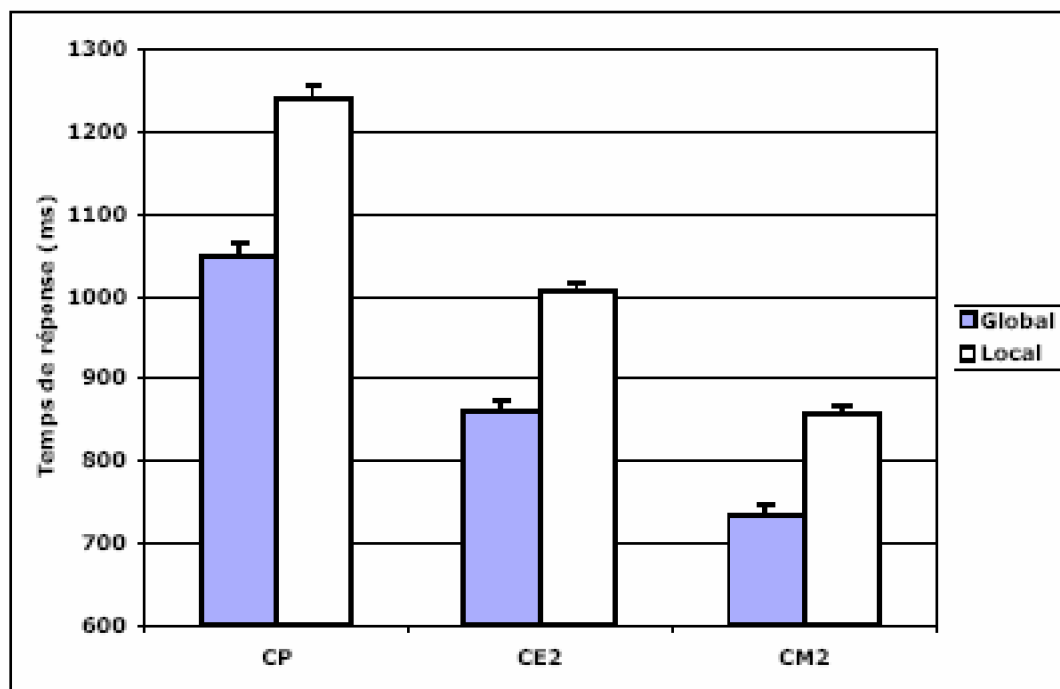


Figure 54. Temps de réponses et erreurs standard selon le niveau et le groupe dans l'Expérience 6.

L'interférence a également un effet puisque les réponses sont plus lentes en condition piège (993 ms) qu'en condition contrôle (922 ms), $F(1, 138) = 293.11, p = .0001$, mais l'interaction Interférence X Niveau révèle surtout l'asymétrie de cette interférence, $F(1, 138) = 15.89, p = .0001$: l'effet négatif du piège est plus fort quand il vient du niveau global (89 ms) que du niveau local (52 ms), comme l'illustre la Figure 55.

En outre, comme chez les adultes, le retard dû au piège est plus marqué en CVD-HG (différence = 82 ms) qu'en CVG-HD (différence = 59 ms) et la comparaison de ces différences est significative, $t(1, 71) = 3.13$, $p = .0013$ (voir Figure 56).

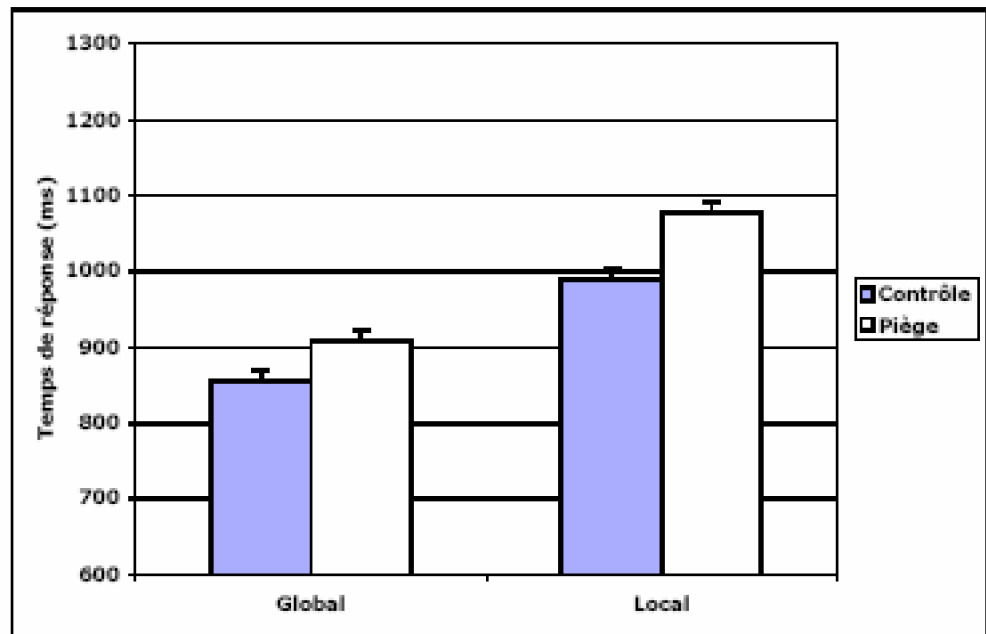


Figure 55. Temps de réponses et erreurs standard selon l'interférence et le niveau dans l'Expérience 6.

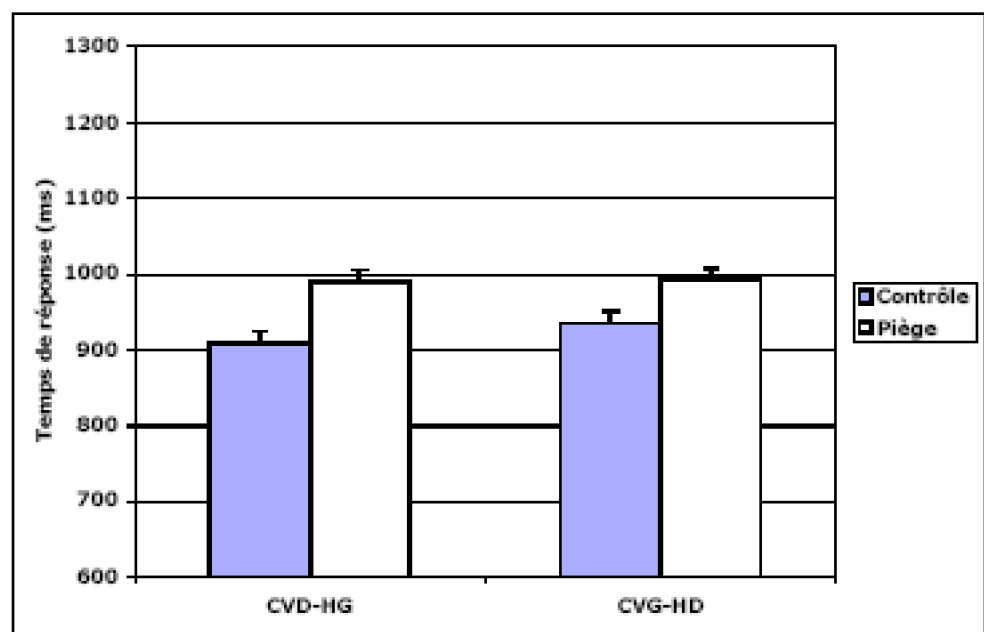


Figure 56. Temps de réponses et erreurs standard selon l'interférence et le champ visuel de présentation dans l'Expérience 6.

Par ailleurs, l'effet principal du champ, $F(1, 138) = 12.67$, $p = .001$, traduit un

avantage en CVD-HG (950 ms) par rapport au CVG-HD (965 ms), mais l'interaction Champ X Catégorie, $F(1, 138) = 6.86$, $p = .009$, nous apprend que cet avantage en CVD-HG repose uniquement sur les lettres hiérarchisées, $t(1, 71) = 4.34$, $p = .0001$, et ne concerne pas les dessins, $t(1, 71) = 0.66$, $p = .25$. Cet avantage en CVD-HG pour les lettres (et jamais pour les dessins) est visible sur la Figure 57, et il est présent pour chaque groupe d'âge, et elle atteint le seuil de significativité en CE2, $t(1, 23) = 1.89$, $p = .036$.

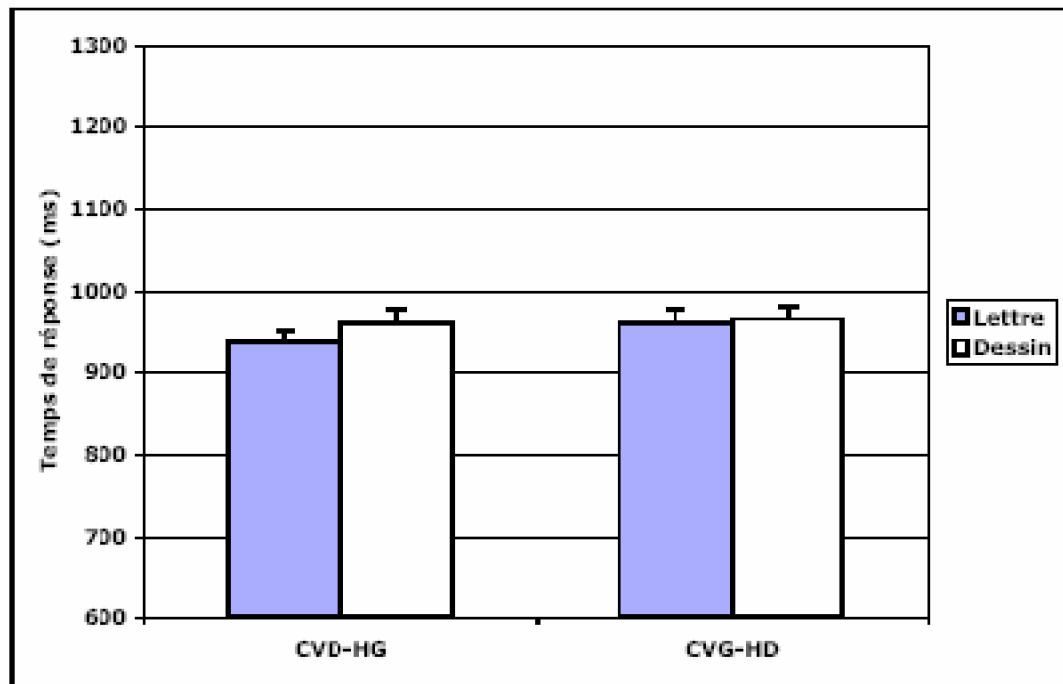


Figure 57. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le champ visuel de présentation dans l'Expérience 6.

Contrairement aux résultats obtenus pour les adultes, il n'y a pas d'interaction Catégorie X Niveau, $F(1, 138) = 1.49$, $p = .2245$, et nous ne retrouvons pas, sur l'ensemble des enfants (voir Figure 58), l'avantage des petites lettres sur les petits dessins, sauf dans une faible mesure dans le groupe de CM2 où cette tendance n'est cependant pas encore significative, $t(1, 24) = 1.19$, $p = .1231$.

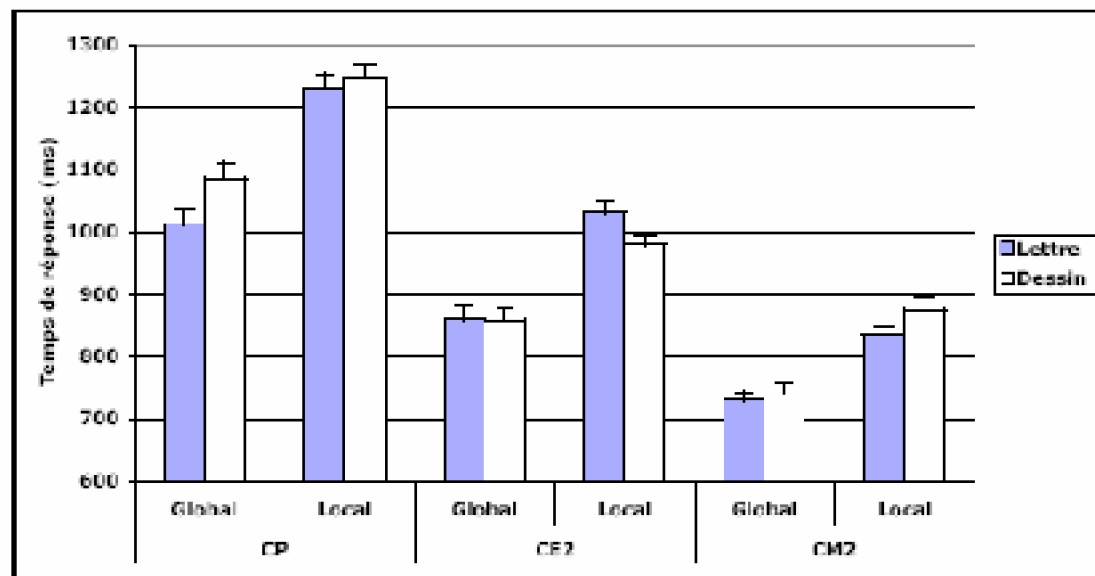


Figure 58. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie le niveau et le groupe dans l'Expérience 6.

Enfin, l'interaction Catégorie X Champ X Niveau est significative sur l'ensemble des enfants, $F(1, 138) = 8.19$, $p = .0049$, avec une configuration de résultats conforme à la modulation de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement local en fonction de la catégorie observée dans les expériences avec paradigme d'attention divisée. Comme l'illustre la Figure 59, le niveau local des lettres est en effet traité plus vite en CVD-HG qu'en CVG-HD, (différence = 34 ms), $t(1, 71) = 3.69$, $p = .0002$, alors que le niveau local des dessins est traité plus vite en CVG-HD qu'en CVD-HG, (différence = 11 ms), $t(1, 71) = 1.26$, $p = .049$.

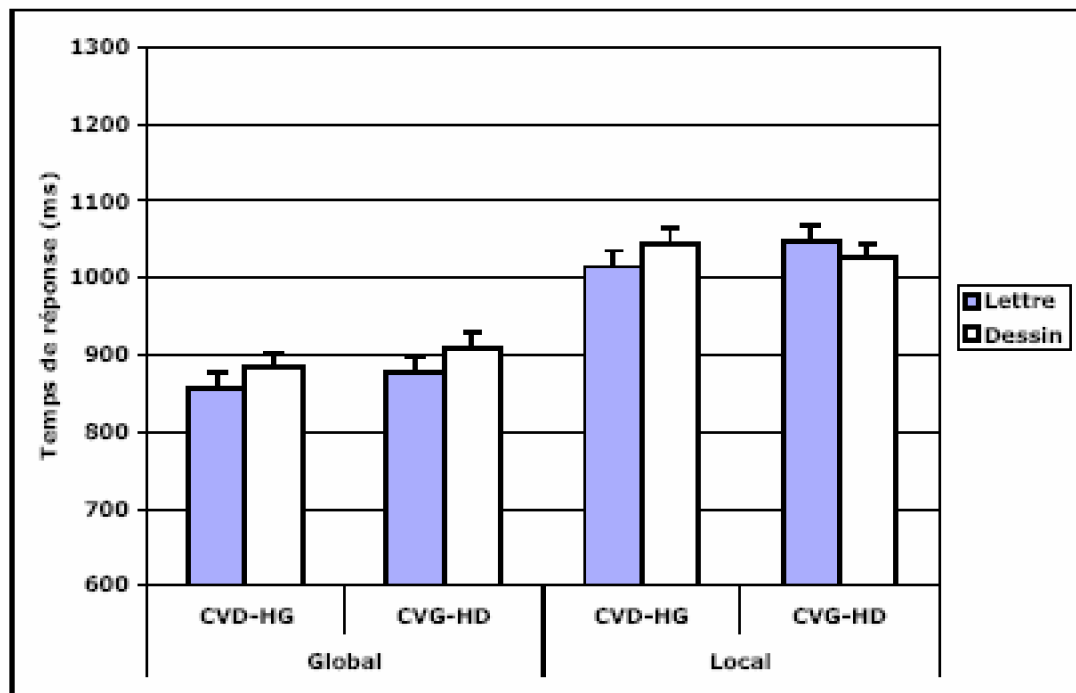


Figure 59. Temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie, le champ visuel de présentation et le niveau dans l'Expérience 6.

L'analyse globale des pourcentages d'erreurs ne fait pas ressortir d'effet de groupe. Par contre, nous observons un effet du champ avec un avantage en CVD-HG (9.45% d'erreurs) par rapport au CVG-HD (10.38%), $F(1, 138) = 5.38, p = .021$. L'effet du niveau est plus massif, avec l'avantage du niveau global (8.31% d'erreurs) sur le niveau local (11.52%), $F(1, 138) = 26.21, p = .0001$, ce qui se vérifie d'ailleurs pour chaque groupe d'enfants, avec un avantage de 3.56% en CP, $F(1, 46) = 9.30, p = .004$, un avantage de 2.83% en CE2, $F(1, 46) = 5.74, p = .0208$, et un avantage de 3.26% en CM2, $F(1, 46) = 13.41, p = .0006$. L'interférence accroît aussi le nombre d'erreurs (12.10%) par rapport à la condition contrôle (7.73%), $F(1, 138) = 103.46, p = .0001$, mais l'interaction Interférence X Niveau révèle surtout l'asymétrie de l'interférence, $F(1, 138) = 23.64, p = .0001$, car celle issue d'un piège venant du niveau global (différence = 6.43%) est plus marquée que celle venant du niveau local (différence = 2.33%), $t(1, 71) = 7.73, p = .006$. Cette asymétrie de l'interférence évolue avec l'âge, comme l'atteste l'interaction Interférence X Niveau X Groupe, $F(2, 138) = 4.35, p = .015$, illustrée en Figure 60. L'interférence venant du niveau global est significative à chaque âge et s'affirme même progressivement : en CP (différence = 4.49%), $F(1, 46) = 32.29, p = .0001$, en CE2 (différence = 5.68%), $F(1, 46) = 30.28, p = .0001$, et en CM2 (différence = 8.29%), $F(1, 46) = 77.49, p = .0001$. Par contre, l'interférence issue du niveau local décroît peu à peu : en CP la différence est de 3.69%, $F(1, 46) = 11.02, p = .0018$, elle n'est plus que de 2.5% en CE2, $F(1, 46) = 5.83, p = .0198$ et est de 0.8% en CM2, $F < 1$. Entre le CP et le CM2, le test de Student montre que la taille de l'effet d'interférence venant du niveau local diminue significativement, $t(1, 47) = 2.25, p = .004$, ce qui n'est pas le cas pour l'interférence venant du niveau global.

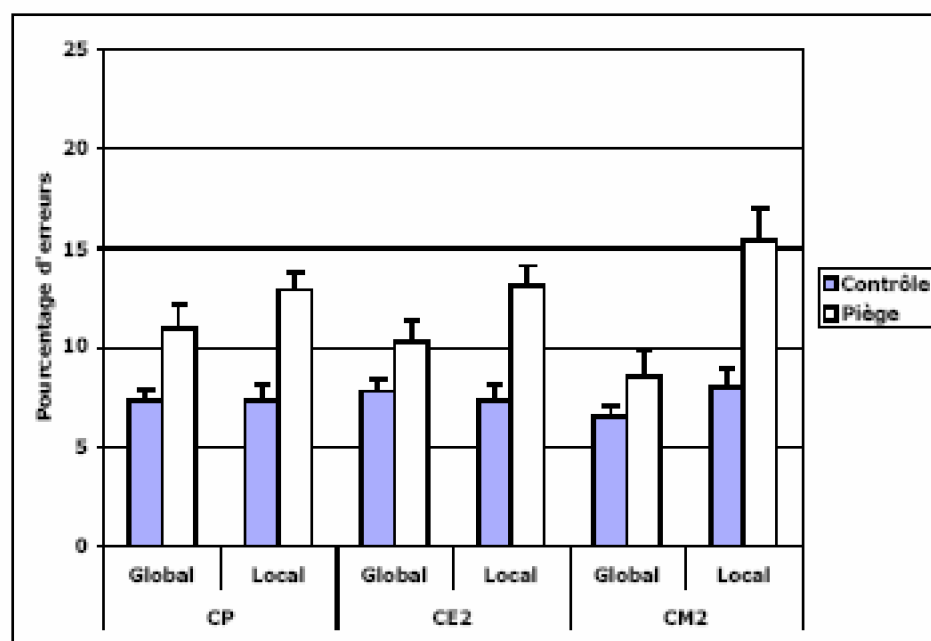


Figure 60. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon l'interférence, le niveau de la cible et le groupe dans l'Expérience 6.

Par ailleurs, une interaction Catégorie X Niveau, $F(1, 138) = 6.16, p = .0142$, permet de préciser que l'avantage du niveau global sur le niveau local n'est significatif que sur les dessins, $t(1, 71) = 2.23, p = .0337$, et pas sur les lettres, $t(1, 71) = 1.24, p = .11$. Enfin, bien que l'interaction Catégorie X Groupe n'atteigne pas le seuil de significativité, $F(2, 138) = 1.66, p = .1939$, la Figure 61 fait ressortir un point intéressant : alors que l'exactitude ne s'améliore pas avec l'âge pour les dessins hiérarchisés, elle s'accroît progressivement pour les lettres hiérarchisées, ce qui est significatif entre le CE2 et le CM2, $t(1, 23) = 1.43, p = .0371$. La Figure 62 montre que cela se traduit, au niveau global, par le passage progressif d'un avantage des dessins sur les lettres en CP, $t(1, 23) = 1.99, p = .0196$, à la disparition de tout effet de catégorie en CM2 pour ce niveau, $t(1, 23) = 0.61, p = .2748$, et par le passage d'une absence d'effet de catégorie au niveau local en CP, $t(1, 23) = 0.35, p = .3637$, vers une forte tendance à l'avantage des lettres en CM2 à ce niveau, $t(1, 23) = 1.32, p = .078$.

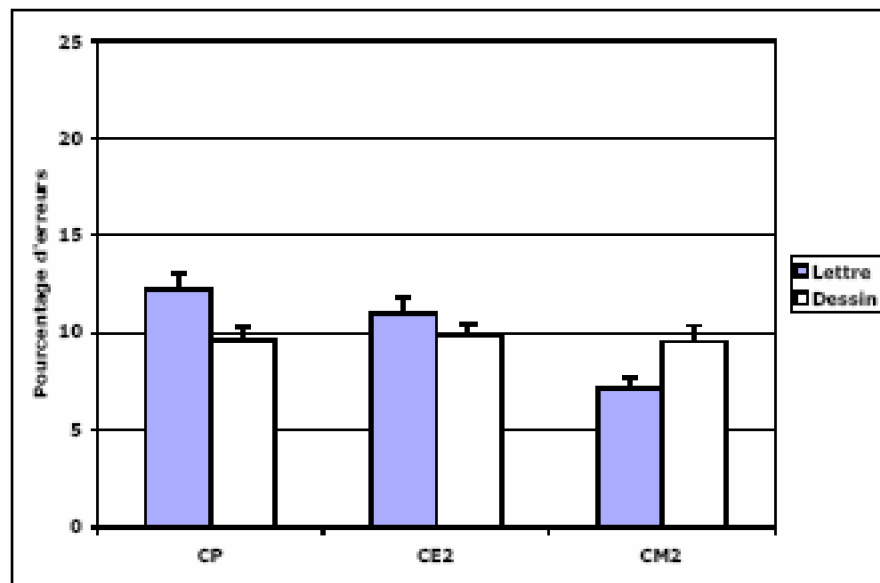


Figure 61. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon la catégorie et le groupe dans l'Expérience 6.

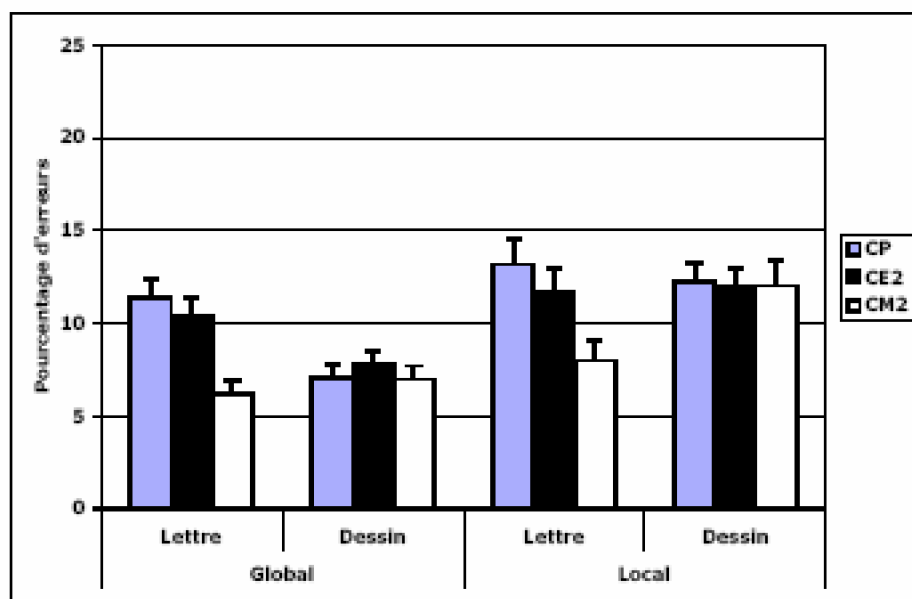


Figure 62. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le groupe, la catégorie et le niveau dans l'Expérience 6.

3. Discussion

Nous avons choisi de présenter l'interprétation des résultats des enfants en rapprochant les données issues des Expériences 5 et 6. Cette discussion sera articulée autour de cinq points, reprenant essentiellement les hypothèses. Nous verrons que le traitement des niveaux global et local fait l'objet de plusieurs modifications pendant l'enfance entre 6 et

10 ans. Avant de présenter ces aspects directement liés à notre problématique, nous pouvons faire état d'un phénomène classique dans les études développementales : les performances des enfants s'améliorent progressivement entre 6 et 10 ans, dans l'une comme l'autre tâche. Chacune des épreuves est néanmoins plutôt bien réussie, avec notamment un pourcentage d'erreurs en dessous de 15%, même chez les enfants du CP, ce qui justifie leur utilisation auprès d'un jeune public. Nous remarquons en outre que l'amélioration des performances ne se fait pas exactement au même rythme pour la vitesse et l'exactitude, car elle correspond surtout à une accélération entre 6 et 8 ans, alors que la précision des réponses fait l'objet d'une amélioration particulièrement nette chez les enfants entre 8 et 10 ans. Pendant cette période de l'enfance, il se trouve que l'effet des facteurs que nous manipulons se manifeste sur ces deux variables dépendantes, qui seront donc évoquées dans cette discussion.

Développement des compétences de traitement pour les catégories Lettre et Dessin d'objet

Le traitement des lettres semble faire l'objet d'un certain avantage chez les enfants, comme nous l'avons préalablement observé chez les adultes.

Les données de l'Expérience 6 vont dans ce sens, montrant une véritable amélioration de l'exactitude avec l'âge seulement pour les lettres. Ainsi, dans cette épreuve, alors qu'à 6 ans les enfants traitent mieux les dessins que les lettres au niveau global, cet avantage disparaît progressivement avec l'avancée en âge vers 10 ans, sans doute à cause de la familiarité croissante du matériel alphabétique. Au niveau local, le traitement est aussi difficile pour l'une que pour l'autre catégorie chez les enfants de 6 ans et nous relevons une progression vers un véritable avantage pour les lettres, en tant que détails, particulièrement net à 10 ans.

Dans l'Expérience 5, nous observons aussi un avantage au profit des lettres par rapport aux dessins d'objets, qui se manifeste surtout sur l'exactitude des réponses, significativement supérieure pour les lettres dès l'âge de 6 ans. Pour ce qui est des temps de réponse, la configuration des données est plus complexe. Nous relevons avant tout, pour l'ensemble des enfants, un avantage pour le niveau local, mais celui-ci s'explique essentiellement par l'avantage de ce niveau lorsqu'il s'agit de traiter des lettres. Plus précisément, nous remarquons que, dans cette épreuve, dès l'âge de 8 ans, les dessins d'objets sont traités plus vite que les lettres au niveau global, alors qu'il existe un véritable avantage du niveau local sur le niveau global exclusivement dans le cas des lettres. Autrement dit, le traitement des lettres, en tant que détails, s'illustre par sa rapidité. Cet avantage pour les petites lettres n'est pas présent chez les enfants de 6 ans, et il s'atténue chez les enfants de 10 ans. Il semble donc qu'à l'âge de 8 ans l'enfant ait une manière particulière de traiter le matériel alphabétique dans les stimuli hiérarchisés. Cet âge correspond à une étape de l'apprentissage de la lecture où l'enfant normo-lecteur est généralement parvenu à développer une bonne expertise pour la mise en correspondance de graphèmes et de phonèmes, alors qu'il n'a encore généralement développé qu'un petit lexique orthographique. C'est pourquoi le mot écrit étant un stimulus dans lequel des informations sont organisées en différents niveaux de complexité, nous pouvons comprendre qu'une compétence particulière à traiter les lettres en tant que

détails se soit mise en place à 8 ans, et qu'elle se traduise non seulement par la place centrale accordée à une procédure de lecture par assemblage à cet âge, mais aussi par un traitement particulièrement efficace des éléments alphabétiques situés au niveau local de lettres hiérarchisées. D'une manière générale, les résultats de nos deux expériences sont donc conformes à l'**Hypothèse 3c**, qui prédisait l'apparition progressive de l'avantage des lettres sur les dessins d'objets, mais aussi la mise en place d'une compétence particulière à traiter les lettres en tant qu'éléments locaux de stimuli contenant des informations à plusieurs niveaux de hiérarchie. De plus, l'interaction entre les facteurs champ et catégorie dans l'Expérience 6 nous apprend qu'il existe un avantage de l'HG pour le traitement des lettres chez tous les enfants, ceci étant même vérifié pour chacun des trois groupes d'âge étudiés ici, ce qui suggère que ces stimuli ont véritablement été considérés comme relevant d'une catégorie linguistique. Des travaux récents ont mis en évidence l'existence d'une région cérébrale précise, la *Visual Word Form Area* (VWFA) dans le gyrus fusiforme médian gauche, dont le rôle serait d'extraire la représentation abstraite des lettres en prenant en compte leur position précise ; plusieurs recherches ont confirmé la latéralisation gauche de cette région chez l'adulte (Cohen et al., 2000, 2002 ; Dehaene et al., 2002 ; Flowers et al., 2004 ; Gaillard et al., 2006 ; Garrett et al., 2000 ; McCandliss et al., 2003 ; Pernet, Celsis, & Démonet, 2005 ; Polk et al., 2002). Chez l'enfant, il est toutefois moins facile de faire ressortir une dominance de l'HG pour le traitement de caractères alphabétiques isolés (Broman, 1978), alors qu'une dominance de cet hémisphère est déjà évidente à l'âge de 7 ans pour des mots écrits : les indices d'une spécialisation de l'HG pour le traitement de simples lettres dans des épreuves avec présentation en champ visuel divisé ne sont recueillis qu'au-delà de 7 ans par ces derniers auteurs. Il faut bien souvent que la tâche oriente clairement l'enfant vers la prise en compte de l'aspect linguistique des lettres pour qu'une telle dominance de l'HG se manifeste (Benoît-Dubrocard & Touche, 1993). Quelques chercheurs sont tout de même parvenus à montrer cette spécialisation hémisphérique chez des enfants très jeunes, notamment Von Aster et Remschmidt (1987) et Davidoff & Done (1984), parfois dès 5 ans (mais pas à 4 ans) : dès que l'enfant est convaincu du statut linguistique des lettres écrites, il semble qu'il puisse s'appuyer, pour leur traitement, sur des mécanismes spécialisés pour le langage, latéralisés depuis plusieurs années déjà, chez eux, dans l'HG. Nos données confortent ce dernier point, puisque nous recueillons nous aussi des données témoignant d'une dominance de l'HG pour le traitement de lettres chez des enfants normo-lecteurs à partir de 6 ans.

En bref, dans ces expériences, il apparaît non seulement que les enfants parviennent assez bien à traiter l'un et l'autre niveaux dans des stimuli hiérarchisés, comme le montraient déjà d'autres études synthétisées dans la partie théorique (Dukette & Stiles, 2001 ; Feeney & Stiles, 1996 ; Ghim & Eimas, 1998 ; Prather & Smith, 1986 ; Smith, 1979 ; Smith & Kemler, 1997 ; Tada & Stiles-Davis, 1989 ; Tada & Stiles, 1996 ; Whiteside, Elkind, & Golbeck, 1976 ; Younger & Cohen, 1986), mais les données montrent aussi que, très tôt, le contenu de l'information en termes de catégories exerce une influence non négligeable sur la facilité avec laquelle l'analyse de l'information s'effectue à l'un ou l'autre niveau.

Développement des dominances hémisphériques pour le traitement des

niveaux global et local

Bien que le traitement de l'information soit possible dans nos expériences aux niveaux global et local pour des enfants dès 6 ans, il se trouve que ces deux niveaux ne sont pas traités avec la même efficacité ; cela dépend aussi en partie des demandes attentionnelles de la tâche.

Dans l'épreuve d'attention focalisée, nous observons en effet un avantage du niveau global, conforme à celui observé chez les adultes dans l'Expérience 4, et qui n'est pas surprenant compte tenu de la plus grande fréquence d'observation d'un tel avantage dans les épreuves utilisant ce paradigme (Luna, Merino, & Marcos-Ruiz, 1990 ; Navon, 1977 ; Navon & Norman, 1983 ; Peressotti, Rumiat, Nicoletti, & Job 1991 ; Proverbio, Minniti, & Zani, 1998). Nous avons aussi évoqué dans la partie théorique (Chapitre II, partie 2.2.1) l'influence des demandes attentionnelles de la tâche sur l'avantage du niveau global chez des enfants (Murray, & Lee, 1977).

Par contre, lorsque la consigne n'impose pas la sélection d'un niveau, un avantage pour le traitement local est observé chez les enfants de notre étude (Expérience 5). Si un avantage pour le niveau global a été mis en évidence par certaines expériences chez des tout-petits, nouveaux-nés (Cassia, Simion, Milani, & Umiltà, 2002) ou bébés de 3-4 mois (Colombo, Mitchell, Coldren, & Freeseaman, 1991 ; Freeseaman, Colombo, & Coldren, 1993 ; Frick, Colombo, & Allen, 2000 ; Courage, & Adams, 1990), celle-ci est alors mise en lien avec une caractéristique de leur système visuel de bas niveau : les bébés manifesteraient à travers cet effet leur préférence pour les fréquences spatiales basses. Cependant, alors que le traitement des fréquences spatiales élevées se développe ensuite rapidement entre 1 et 4 ans (Adams, & Courage, 2002), les véritables progrès de l'enfant pour les basses fréquences spatiales, importantes pour le traitement global, ne se feront qu'entre 7 et 9 ans. Aussi, au moins en partie pour des raisons liées à l'immaturité des capacités sensorielles, il n'est pas très étonnant d'observer un avantage pour le niveau local chez des enfants de 6 à 10 ans, sur un matériel pour lequel des adultes faisaient preuve d'une même efficacité de traitement pour l'un et l'autre niveaux.

En proposant aux enfants de traiter des lettres mais aussi des dessins d'objets hiérarchisés, il est surtout apparu que, malgré le jeune âge de ces participants, le traitement des niveaux était déjà sensible au contenu du matériel. Cela permet de nuancer l'effet du seul facteur niveau, car celui-ci interagit avec d'autres facteurs.

Notre **Hypothèse 3b** prédisait que l'influence de la nature du matériel allait se traduire progressivement chez l'enfant par la mise en place d'une modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local.

Dans les résultats de notre Expérience 5, cela se manifeste de la façon suivante. L'interaction significative des facteurs niveau, champ et groupe sur les pourcentages d'erreurs montre tout d'abord que l'asymétrie hémisphérique associée au traitement des niveaux varie au cours de l'enfance. A 6 ans, une dominance de l'HG pour le traitement du niveau local est observée, allant de paire avec une dominance de l'HD pour le traitement global. Ces effets ne sont pas tributaires alors de la catégorie du matériel et l'interaction Catégorie X Niveau X Champ n'apparaît pas chez ces jeunes enfants. Ces

effets ne sont pas contredits par la configuration des résultats sur les temps de réponse et ils apportent des arguments tout à fait favorables à l'**Hypothèse 3a** (Kéïta, Bedoin, Herbillon, Lévy-Sebbag, & Mériqot, 2005).

Peu de recherches ont porté sur les capacités de traitement de l'un et l'autre niveaux chez des enfants à partir de l'entrée en école primaire, mais de rares données témoignent tout de même, elles aussi, d'une certaine dominance de l'HG pour l'analyse de la forme des détails d'un objet visuel et d'une dominance de l'HD pour traiter leurs relations spatiales chez des enfants bien plus jeunes (4 à 10 mois), ce qui préfigure sans doute la future asymétrie des dominances hémisphériques pour les traitements global et local (Deruelle & de Schonen, 1991). Les rares tentatives d'évaluation des dominances hémisphériques pour le traitement des niveaux chez des enfants d'âge scolaire n'ont pas toujours été concluantes. Roe, Moses et Stiles (1999) décrivent par exemple, chez des enfants de 7 ans, un profil qu'ils qualifient d'immature : ces enfants présentent en effet les signes évidents d'un avantage du niveau global sur le niveau local, mais celui-ci n'est pas associé à une dominance hémisphérique spécifique à l'un des niveaux d'analyse. C'est seulement chez des enfants plus âgés, à partir de 12 ans d'après Roe et ses collègues (1999), mais dès 10 ans d'après Mondloch, Geldart, Maurer et de Schonen (2003), et plus systématiquement à 14 ans, qu'une amélioration du traitement local est observée, associée à un avantage de l'HG pour le traitement de ce niveau et à l'apparition d'une tendance de l'HD à mieux traiter le niveau global (profil mature). Sans nier que la spécialisation hémisphérique pour le traitement des différents niveaux de complexité s'affine jusqu'à l'adolescence, comme le montrent Moses, Roe, Buxton, Wong, Frank et Stiles (1997), nos résultats témoignent du fait qu'il est néanmoins possible de recueillir les indices d'une certaine asymétrie des spécialisations hémisphériques pour ces deux niveaux dès l'âge de 6 ans, à partir du traitement de stimuli hiérarchisés. Cela tient vraisemblablement en partie au choix de la tâche : notre épreuve d'attention divisée est plus favorable à l'émergence d'effets d'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux que la tâche d'attention focalisée choisie par Roe et ses collègues. Cela tient sans doute aussi au fait que l'information de niveau local jouit, dans notre matériel, d'une même saillance que l'information située au niveau global, d'après les données chez les adultes.

En faisant varier la catégorie des stimuli hiérarchisés, nous avons pu montrer que le développement du système cognitif de l'enfant pour traiter les différents aspects d'un objet visuel complexe ne se fait pas seulement dans le sens de mécanismes de traitement de plus en plus spécialisés, et latéralisés, pour le traitement des niveaux, comme le résumait Stiles et ses collègues (2003a). En effet, nous montrons qu'il se caractérise aussi par la mise en place d'une certaine possibilité de modulation des asymétries hémisphériques selon la nature du contenu des stimuli, ce qui va dans le sens de l'**Hypothèse 3b**. En effet, dès 8 ans, la dominance de l'HG générale pour le traitement local disparaît sur les pourcentages d'erreurs dans l'Expérience 5, avec tout de même encore une tendance en ce sens sur les temps de réponse, et à 10 ans toute dominance hémisphérique gauche pour le niveau local a disparu, sur les temps de réponse comme sur les taux d'erreurs. Cela s'explique par le rôle croissant de la catégorie des stimuli représentés, sur la configuration des dominances hémisphériques pour le traitement des niveaux. En

témoigne la forte tendance à l'interaction entre les facteurs niveau, champ et catégorie à 8 ans. Bien que cette interaction n'atteigne pas le seuil de significativité, nous la signalons car elle préfigure l'interaction, cette fois significative, observée chez les enfants de 10 ans. A 8 ans, ce phénomène s'explique déjà par une dominance de l'HG pour le niveau local qui tend fortement à se restreindre au seul cas des lettres. A 10 ans, nous observons, encore plus clairement, un avantage significatif de l'HG pour le niveau local des lettres hiérarchisées, qui s'oppose à une tendance vers un avantage de l'HD pour le traitement local des dessins d'objets hiérarchisés. Cette configuration est conforme aux phénomènes observés chez les adultes. Ces effets sont confirmés par les résultats de l'Expérience 6, dans laquelle l'interaction des facteurs niveau, champ et catégorie est significative sur l'ensemble des enfants de 6 à 10 ans, témoignant d'un avantage significatif de l'HG pour le niveau local des lettres hiérarchisées et d'un avantage (également significatif) de l'HD pour le niveau local des dessins d'objets hiérarchisés. Si cette configuration des résultats s'observe lorsque les 144 enfants de l'étude sont rassemblés pour l'analyse, il s'avère toutefois que l'interaction des trois facteurs catégorie, niveau et champ, étudiée séparément pour chaque tranche d'âge, n'approche la significativité qu'à partir de 8 ans.

Développement de la sensibilité au contexte des modes de traitement préalables

Comme le jeune adulte, l'enfant présente des difficultés à passer d'un niveau d'analyse à l'autre selon l'ampleur du nombre de répétitions avant ce changement, c'est-à-dire selon la force de son investissement dans le mode de traitement préalable, devenu inapproprié. Nous n'avons pas à ce sujet d'hypothèse particulière, mais il semblait toutefois important de vérifier l'effet du facteur *nombre de répétitions avant un changement de niveau* chez des enfants d'âge scolaire ne présentant aucun trouble neurologique avéré.

En effet, il se trouve que dans certaines pathologies, un déficit particulier a été évoqué à propos de la capacité à passer d'un mode de traitement à l'autre, et la mise au point d'épreuves telles que l'Expérience 5, suffisamment facile pour être réalisée par des enfants de 6 ans, pourrait présenter un intérêt pour de futures recherches à propos d'un tel déficit, dans la mesure où cette expérience propose un moyen original d'étudier la capacité à effectuer le processus de changement de niveau. Nous pensons en particulier au cas des enfants atteints du syndrome de Williams. Cette pathologie s'accompagne de troubles de la cognition spatiale, notamment dans le domaine visuo-constructif, pouvant être mis en relation avec une altération au niveau de la voie dorsale. Bien que l'hypothèse la plus fréquemment avancée pour rendre compte des difficultés de ces enfants dans ce domaine évoque un déficit du traitement global, qui expliquerait pourquoi ils se centrent si fortement sur les détails des informations, il semble que cette déficience ne soit pas très systématique et ne reflète en tout cas pas une anomalie du système perceptif de bas niveau (pour une revue, voir Fayasse & Thibaut, 2003). Il semble plutôt que ces enfants aient des difficultés à changer l'organisation spatiale d'un objet (Pani, Mervis, & Robinson, 1999), par exemple lorsque, dans une tâche de cubes, ils doivent passer d'une analyse locale à une analyse globale pour reproduire une configuration, ou lorsqu'ils doivent abandonner l'examen de la forme des détails pour effectuer un jugement sur

l'organisation de leurs relations spatiales (Deruelle, Mancini, Livet, Cassé-Perrot, & de Schonen, 1999). Fayasse et Thibaut (2003) défendent en particulier l'hypothèse d'une *difficulté de désengagement local* chez ces personnes et montrent que leurs difficultés à traiter l'information au niveau global s'accroissent si leur attention est fortement attirée par des détails dotés d'une saillance perceptive particulièrement forte (Fayasse & Thibaut, 2002). Un test complémentaire de cette hypothèse, qui postule que le déficit du traitement global n'apparaît que si la saillance des éléments locaux est comparativement très élevée, pourrait consister à vérifier si ces enfants sont aussi anormalement perturbés par l'augmentation du nombre de répétitions avant un changement de niveau, uniquement lorsque celui-ci se fait du niveau local au niveau global.

Dans l'Expérience 5, conduite chez des enfants entre 6 et 10 ans, les participants de toutes les tranches d'âge présentent tous un retard dans leurs réponses lorsqu'un changement de niveau est précédé de 4 répétitions, plutôt que de 2 répétitions, à un autre niveau d'analyse. Cet effet ne varie pas selon le champ visuel de présentation et la dominance de l'HD dont nous avons parlé dans le Chapitre I pour l'opération de désélection ne semble concerner que les adultes. Surtout, cet effet négatif du nombre de répétitions avant un changement de niveau ne varie pas selon le sens du passage chez les enfants, et l'épreuve pourrait donc constituer un outil intéressant pour étudier si des patients se caractérisent, par exemple, par une asymétrie de cet effet en fonction du sens de l'alternance entre les niveaux global et local.

Développement de la sensibilité à l'interférence entre 6 et 10 ans

Pour finir, nous avons également étudié le développement de la sensibilité des enfants à l'interférence issue d'un niveau d'analyse que la consigne demande d'inhiber, dans l'Expérience 6.

Les enfants de 6 à 10 ans, comme les adultes, ont présenté une forte sensibilité à la perturbation induite par la présence d'une information concurrente, située au niveau qu'ils doivent pourtant ignorer. Cette vulnérabilité n'est pas étonnante, compte tenu des travaux dont nous avons synthétisé les résultats dans la partie 2.2.4. du Chapitre II, à propos du développement progressif des capacités de filtrage chez l'enfant, aussi bien pour la souplesse de l'ajustement d'une fenêtre attentionnelle (Enns, & Girgus, 1985 ; Pasto, & Burack, 1997), que pour la focalisation volontaire de l'attention (Enns, & Trick, in press) et les capacités d'inhibition d'informations visuelles (Camus, 2003 ; Enns, & Akhtar, 1989 ; Enns & Cameron, 1987 ; Porporino, Shore, Iarocci, & Burack, 2004 ; Ridderinkhof, van der Molen, Band, & Bashore, 1997 ; Tipper, Bourque, Anderson, & Brenaut, 1989 ; Williams, Ponesse, Schachar, Logan, & Tannock, 1999).

Comme les adultes, les enfants dans leur ensemble sont cependant moins perturbés par l'interférence lorsque le stimulus est présenté en CVG-HD plutôt qu'en CVD-HG. Ce résultat est cohérent avec le fait que l'implication de structures cérébrales de l'HD est souvent évoquée pour les mécanismes d'inhibition. Par exemple, lorsqu'il s'agit de réprimer l'exécution d'une réponse motrice, Garavan, Ross et Stein (1999) ont mis en évidence, à partir de données en IRMf, l'implication d'un ensemble de régions largement distribuées mais latéralisées dans l'HD, notamment dans les gyri frontaux inférieur et

médian, dans les aires limbiques frontales, la région antérieure de l'insula, mais aussi le lobe pariétal inférieur. Plus largement, en dehors du seul domaine de l'inhibition de réponses ou de traitement d'informations perceptives, des lésions de l'HD (notamment dans la région orbito-frontale) sont associées aux syndromes de désinhibition chez des personnes âgées (Shulman, 1997). Chez les enfants atteints de troubles de l'attention avec hyperactivité, des données en IRMf ont encore permis de montrer la relation entre les capacités d'inhibition de réponse et le réseau fronto-striatal droit (Casey, & al., 1997). Il n'est donc pas très étonnant que le processus permettant d'inhiber une information visuelle non pertinente au sein d'un objet perçu rapidement soit réalisé plus efficacement lorsque l'information est plus directement adressée à l'HD.

Un résultat plus original de cette recherche est la mise en place progressive de l'asymétrie de l'interférence, que nous avons prédite dans l'**Hypothèse 3d**. Des travaux conduits chez l'enfant ont, nous l'avons expliqué dans la partie théorique, montré que le développement des compétences à traiter les niveaux global et local suivent des parcours développementaux dont les rythmes sont différents : les compétences à traiter l'information locale atteignent un palier plus rapidement que les compétences à traiter le niveau global, qui progressent jusqu'à des étapes tardives de l'enfance (Burack, Enns, Iaconi, & Randolph, 2000 ; Dukette & Stiles, 1996, 2001 ; Enns, Burack, Iaconi, & Randolph, 2000). Dans notre travail, nous avons voulu montrer qu'il en est de même des mécanismes d'inhibition associés à l'un et l'autre niveaux d'information dans les stimuli visuels complexes. Les résultats présentés par Porporino et ses collègues (2004) nous avaient suggéré que le sens de l'asymétrie de ces trajectoires développementales serait au détriment de l'inhibition de l'information locale, qui mettrait plus longtemps à devenir mature, lorsque la consigne requiert la sélection du niveau global. En effet, ces auteurs ont montré que la présence de distracteurs est plus perturbante pour le traitement global que pour le traitement local d'un stimulus hiérarchisé, chez des enfants de 6 à 8 ans. Les données que nous avons observées vont dans le sens de notre hypothèse, puisqu'elles montrent que l'enfant atteint rapidement les limites de ses capacités d'inhibition d'information au niveau global, alors que son mécanisme d'inhibition de l'information locale continue à s'améliorer pendant une période plus longue. Il s'ensuit que l'asymétrie classique de l'interférence est plus nette chez les enfants de 10 ans que chez ceux de 8 ans, et encore plus qu'à 6 ans. Grâce à ce prolongement du développement de leur mécanisme d'inhibition des détails d'une information visuelle complexe, les enfants vont peu à peu s'affranchir de l'interférence issue du niveau local.

La différence des trajectoires développementales de ces mécanismes d'inhibition perceptive, selon le niveau de complexité visé dans l'objet, constitue aussi un argument pour leur relative indépendance. C'est en grande partie ce qui motivera, dans le Chapitre III de notre thèse, une hypothèse à propos d'un déficit spécifique de l'un de ces mécanismes, celui dont la trajectoire développementale est la plus longue, dans le cadre d'une pathologie de l'apprentissage de la lecture.

Chapitre III. Traitement des niveaux global et local de l'information visuelle chez des enfants avec ou sans trouble phonologique majeur

1 Définition de la dyslexie développementale

La dyslexie se définit comme un trouble spécifique, grave et persistant de l'apprentissage de la lecture, ne s'expliquant ni par un environnement social insuffisamment stimulant, ni par une scolarisation non assidue ou inadéquate, un déficit sensoriel primaire, une déficience intellectuelle, ou un trouble neurologique ou psychiatrique. Ce trouble, diagnostiqué à partir d'un retard de lecture de 18 à 24 mois, reflète le dysfonctionnement de mécanismes cognitifs responsables de la lecture. Les chiffres diffèrent selon les études, mais selon différentes enquêtes, en moyenne plus de 5% des enfants scolarisés seraient concernés par ce handicap (e.g., 4% selon l'Organisation Mondiale de la Santé, 2001 ; entre 4 et 10% selon Katusic, Colligan, Barbaresi, Schaid, & Jacobsen, 2001), qui persiste durant toute la vie, ce malgré une motivation.

2. Classification des formes de dyslexie développementale

2.1. Modèle théorique à l'origine de cette classification

La dyslexie a tout d'abord été étudiée auprès de patients pour qui l'apprentissage de la lecture n'a pas forcément posé de problème particulier mais qui, suite à un accident cérébral ou une pathologie dégénérative progressive, ont perdu tout ou partie de leurs compétences en lecture. Il s'agit alors d'une dyslexie acquise. L'analyse précise des erreurs de ces patients montre parfois que certains aspects de la lecture, épargnés chez les uns, présentent un déficit sélectif chez d'autres. Ces dissociations fonctionnelles ont permis d'émettre des hypothèses sur les processus cognitifs impliqués en lecture : certains patients parviennent par exemple encore à lire les mots, pour peu qu'ils soient réguliers, et produisent des erreurs consistant à régulariser les mots irréguliers (e.g., sept, lu [s□pt] ; d'autres, au contraire, ne peuvent lire que les mots qui leur étaient déjà particulièrement familiers, qu'ils soient réguliers ou non. Ces différences suggèrent l'existence de deux procédures de lecture : dans le premier type de cas, le patient pourrait décoder le mot mais n'aurait plus accès aux représentations orthographiques en mémoire (on parle alors de dyslexie de surface), dans le deuxième type de cas, le décodage systématique n'est plus possible mais le patient peut s'appuyer sur le stock de connaissances orthographiques de son lexique mental : on parle alors de dyslexie phonologique (Coltheart, Masterson, Byng, Prior, & Riddoch, 1983). Ces observations sont cohérentes avec la proposition d'un modèle dit 'à double voie' (Coltheart, 1978, 1981), qui soutient que les informations orthographiques et phonologiques sont des sources possibles distinctes d'activation dans l'identification des mots écrits. La procédure par adressage, rapide et automatique, permettrait un accès direct aux représentations orthographiques des mots à partir de l'information visuelle ; la procédure par assemblage, plus lente et impliquant un déplacement de l'attention, permettrait de mettre en correspondance les graphèmes et les phonèmes afin d'élaborer une représentation phonologique du mot écrit. Même si les développements récents de ce modèle prévoient une certaine coopération entre les deux procédures et la participation de processus non seulement ascendants mais aussi descendants (Colheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001), les deux voies de lecture sont fondamentalement décrites comme séparées, fonctionneraient en parallèle et pourraient faire l'objet de perturbations sélectives : la dyslexie acquise de type phonologique s'expliquerait par des perturbations de la procédure d'assemblage, la dyslexie de surface par une altération de la procédure d'adressage.

Pour ce qui est de la dyslexie développementale, la première attitude a consisté à s'appuyer sur ce modèle pour rendre compte de la variété des profils. Cela supposerait que les différentes composantes du système adulte s'installent très vite chez l'enfant,

même si l'automatisation met du temps à s'établir pour permettre une lecture rapide et précise. Nous dirons par la suite les limites de cette approche, mais elle permet une première classification, basée sur le type d'échecs ou d'erreurs des jeunes patients.

2.2. La dyslexie développementale phonologique

Dans ce modèle, la dyslexie développementale phonologique viendrait d'une difficulté à mettre en place la voie d'assemblage et à réaliser la conversion graphème-phonème. Cela expliquerait la difficulté particulièrement forte à lire des mots peu familiers et des pseudo-mots, ainsi que les nombreuses erreurs par lexicalisation (production d'un mot phonologiquement et/ou visuellement proche). Ces erreurs s'accompagnent d'une dysorthographe phonologique, caractérisée par des difficultés majeures à orthographier des pseudo-mots et une tendance à commettre des erreurs ne respectant pas la forme phonologique des mots (erreurs non phonologiquement plausibles) ; ce trouble s'accompagne souvent de difficultés au niveau du langage oral (difficulté à trouver les mots, prononcés de façon déformée), de troubles de la mémoire verbale à court-terme (rétention de séries de mots ou de chiffres), ainsi que d'un trouble de la conscience phonologique (en particulier des difficultés à identifier les phonèmes à l'intérieur des mots parlés et à les manipuler volontairement) considéré par beaucoup comme étant à l'origine des principales difficultés d'apprentissage de la lecture (Gombert, 1990 ; Sprenger-Charolles, Lacert, & Colé, 1999). Par contre, la lecture de mots très familiers est possible indépendamment de leur régularité, car la procédure lexicale serait utilisable.

2.3. La dyslexie développementale de surface

Dans le cadre du modèle de la double voie, la dyslexie de surface ou dyséidétique (Boder, 1973) s'expliquerait par un recours exclusif à la procédure de lecture par assemblage, à cause de l'impossibilité d'élaborer et/ou d'utiliser un stock de représentations orthographiques pour récupérer automatiquement la représentation phonologique spécifique au mot. Cela se traduit par un trouble sélectif de la lecture des mots irréguliers, alors que la lecture des mots réguliers et des pseudo-mots est préservée. La lecture est lente et laborieuse, les mots sont toujours décodés comme s'ils étaient vus pour la première fois. Ces enfants ne présentent pas de trouble de production orale et effectuent sans difficultés les épreuves métaphonologiques. L'enfant dyslexique de surface fait principalement des erreurs de régularisation par application stricte des règles de conversion graphème-phonème. Il présente une dysorthographe de surface, caractérisée par d'abondantes erreurs phonologiquement plausibles (il écrit les mots en appliquant les règles de conversion phonème-graphème les plus courantes) et de bonnes performances en écriture de pseudo-mots. Dans les tâches de décision lexicale, il accepte à tort des pseudo-mots comme de vrais mots (*e.g.*, *aricau* est catégorisé comme un mot) et attribue à un même mot des orthographes variables (Valdois, 2000). Des études de cas (Valdois, 1996a ; Zorman, 2002) et de groupes (Herbillon, 2001) montrent que les enfants dyslexiques de surface ne présentent pas de trouble majeur de la conscience phonologique. Bien que l'origine de leurs difficultés reste controversée, ils semblent

présenter un trouble visuo-attentionnel qui les empêche de traiter simultanément l'ensemble de la séquence orthographique du mot et de stocker progressivement les représentations de mots complets pour enrichir le lexique orthographique. C'est comme si ces enfants ne pouvaient appréhender qu'un nombre très limité des lettres, en une seule prise d'information visuelle.

2.4. La dyslexie développementale mixte

Ce type de dyslexie s'expliquerait par une atteinte des deux procédures (adressage et assemblage). Les enfants présentent des difficultés de lecture non seulement des pseudo-mots mais aussi des mots familiers, réguliers ou non ; leurs erreurs sont de types variés, aussi bien en lecture qu'en écriture sous la dictée.

3. Corrélats neuroanatomiques de la dyslexie développementale

Nous avons vu que les dyslexies développementales doivent être distinguées des dyslexies acquises qui sont la conséquence de lésions cérébrales. Néanmoins, les zones cérébrales lésées induisant une perte des capacités de lecture chez l'adulte pourraient être les mêmes que celles faisant l'objet de malformations ou de dysfonctionnements chez l'enfant. Grâce à des études post-mortem (travaux de Galaburda et de son équipe entre 1979 et 1985) et au développement des techniques d'imagerie cérébrale, non seulement l'activité cérébrale liée à la lecture normale est de plus en plus précisément décrite (Démonet, Taylor, & Chaix, 2004 ; Price, Wise, Watson, Patterson, Howard, & Frackowiak, 1994), mais des arguments en faveur d'explications neuroanatomiques de la dyslexie sont proposés, à partir de l'observation d'anomalies tant morphologiques qu'anatomo-fonctionnelles. Nous proposons à ce sujet une rapide synthèse (pour une revue, voir Habib, 2000 ; Ramus, 2003).

Plusieurs anomalies morphologiques, liées à une maturation cérébrale anormale, ont été relatées. Il s'agit notamment d'ectopies, de polymicrogyri et de dysplasies particulièrement nombreux en région périsylvienne gauche et traduisant une migration anormale et une accumulation focale des neurones en cours de maturation, dans des aires cérébrales connues pour leur rôle majeur dans les traitements verbaux (Galaburda, & Kemper, 1979 ; Galaburda, 2002). Par ailleurs, des anomalies de l'asymétrie de certaines régions intervenant dans les traitements langagiers sont relatées, bien que la controverse subsiste quant aux aires cérébrales concernées, notamment le *planum temporale* (Hugdahl, & al., 2003 ; Larsen, Høien, Lundberg, & Odegård, 1990) et une partie du lobe pariétal inférieur (Heiervang & al., 2000 ; Leonard & al., 1993). Ces anomalies de l'asymétrie sont délicates à interpréter, car elles ne sont pas systématiques chez les dyslexiques (Rumsey, Donohue, Brady, Nace, Giedd, & Andreason, 1997) et sont relevées également dans d'autres pathologies, notamment la schizophrénie. Plutôt que de fournir une explication directe, elles pourraient refléter un facteur de risque

pouvant s'exprimer par divers troubles neuro-développementaux (Edgar, & al., 2005). Des travaux en génétique montrent par exemple que l'asymétrie cérébrale atypique est vraisemblablement une expression phénotypique de gènes situés dans des régions de chromosomes présentant une forte similarité dans les cas d'autisme, d'hyperactivité et de dyslexie (Smalley, Loo, Yang, & Cantor, 2005). Il n'en demeure pas moins que l'absence d'asymétrie dans la région du *planum temporale* est associée à des déficits linguistiques (Morgan & Hynd, 1998). Par ailleurs, le corps calleux est parfois décrit comme plus grand et épais (surtout pour la partie postérieure) dans le cerveau de dyslexiques, anomalies corrélées au degré de déficit phonologique des patients (Robichon, & Habib, 1998). Il pourrait expliquer le transfert inter-hémisphérique anormal parfois décrit (Davidson, & Saron, 1992 ; Duara, & al., 1991, la latéralisation insuffisante de la spécialisation pour des fonctions langagières dans les régions corticales postérieures (Rumsey & al., 1997), ou encore le déficit d'intégration inter-hémisphérique parfois évoqué pour les traitements visuo-spatiaux (Badzakova-Trajkov, Hamm, & Waldie, 2005). Un autre type d'altération morphologique est encore associé à la dyslexie : une réduction de la densité de matière grise dans les lobes temporaux et une augmentation de celle-ci dans des régions frontales (Vinckenbosch, Robichon, & Eliez, 2005). Cette densité locale est corrélée aux performances dans une tâche de jugement de rimes, résultat permettant de relier caractéristiques structurales et compétences phonologiques qui, nous l'avons vu, sont en cause dans la dyslexie. D'autres caractéristiques neurobiologiques relatives au volume de matière blanche dans la région temporo-pariétale gauche, ou au volume de matière grise dans le gyrus lingual, le lobule pariétal inférieur gauche et le cervelet, découvertes récemment grâce à de nouvelles méthodes morphométriques, sont progressivement reliées à des hypothèses d'explication précises (Eckert, & al., 2005), que nous détaillerons dans la partie 4 de ce chapitre.

Par ailleurs, des anomalies des connexions fonctionnelles entre certaines aires cérébrales sont aussi relatées. Simos et ses collègues (2000) ont ainsi observé une configuration inhabituelle des connexions fonctionnelles entre des aires cérébrales impliquées en lecture : la reconnaissance de mot s'accompagne d'une activation temporelle gauche suivie d'une activation des aires temporo-pariétales droites chez les enfants dyslexiques, mais des aires temporo-pariétales gauches chez les enfants sans trouble de la lecture. Paulesu et ses collègues (1996) (cités par Ramus, 2003) ont pour leur part décrit une trop faible connectivité entre les aires cérébrales normalement impliquées dans les traitements langagiers, ce qui compromet leur activation simultanée. Ainsi, dans deux tâches phonologiques (l'une de jugement de rimes, l'autre de mémoire à court terme), la totalité des aires du langage est activée, à des degrés d'implication variés, chez les lecteurs sans difficulté (cortex pariétal inférieur, aire de Broca, aire de Wernicke, insula), les dyslexiques ne les activant qu'à l'économie : seule l'aire de Broca est activée pour le jugement de rimes et seule l'aire de Wernicke l'est pour la tâche impliquant la mémoire à court terme. Les dyslexiques se distingueraient aussi par une réduction des activations cérébrales dans le gyrus angulaire (Rumsey, & al., 1999 ; Shaywitz, & al., 2002, Cités par Ramus, 2003) et le gyrus supra-marginal (Brunswick, McCrory, Price, Frith, & Frith, 1999 ; Paulesu, & al., 2001). Les anomalies de l'activation cérébrale relevées chez les dyslexiques ne varieraient pas d'une culture à l'autre, malgré les différences majeures quant à la phonologie des langues parlées (Paulesu, & al., 2001,

cités par Ramus, 2003) et une activation anormalement faible de la jonction occipito-temporale gauche (dont nous avons parlé pour le traitement des mots et des lettres) est par exemple observée pour le traitement de mots en français, en anglais, comme en italien (Paulesu, & al., 2001 ; Silani, & al., 2005).

Le constat d'anomalies neuro-anatomiques et neuro-fonctionnelles ne présente un intérêt que dans ses liens avec le déficit de mécanismes cognitifs précis, c'est l'effort réalisé par les recherches actuelles en neuroscience cognitive. Dans le cadre de cette thèse, les perturbations de l'asymétrie hémisphérique nous interpellent particulièrement, étant données nos interrogations sur l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux d'analyse global/local des objets visuels complexes. De même, les anomalies morphologiques et fonctionnelles impliquant des régions importantes pour la phonologie présentent pour nous l'intérêt d'être liées aux aspects linguistiques des traitements, ce qui pourrait avoir une incidence sur la prise en charge, différencié ou non, des stimuli hiérarchisés selon la catégorie (alphabétique ou non) de l'information qu'ils contiennent.

4. Hypothèses sur les mécanismes cognitifs déficitaires à l'origine de la dyslexie

Pendant longtemps une conception unitaire, largement prévalente, considérait qu'un seul déficit cognitif, le trouble phonologique, était associé aux troubles d'apprentissage de la lecture quelle qu'en soit la forme. L'hétérogénéité des enfants dyslexiques s'expliquerait alors par le degré de sévérité du trouble ou le type de stratégie pour dépasser les problèmes posés : les enfants dyslexiques phonologiques privilégieraient l'exactitude (et leur déficit phonologique apparaîtrait surtout sur les temps de réponse) alors que les dyslexiques de surface privilégieraient la vitesse (leur déficit phonologique se manifestant alors sur les erreurs) (Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000). Cependant, l'absence de trouble phonologique dans certains cas de dyslexie, voire même des performances supérieures dans ce domaine (Valdois, & al., 2003), motive une conception pluraliste de la dyslexie : nous allons présenter les principales hypothèses susceptibles de rendre compte de certaines formes de cette pathologie. Notre travail s'inscrit dans cette perspective, car nous cherchons à mettre en évidence des anomalies concernant des mécanismes cognitifs distincts selon le type de dyslexie.

4.1. L'hypothèse phonologique

Les connaissances phonologiques ont un rôle central en lecture. Il est aujourd'hui admis que, même chez l'adulte bon lecteur, la reconnaissance de mot n'implique pas seulement l'activation de connaissances orthographiques et sémantiques, mais aussi des connaissances phonologiques (pour une revue, voir Berent & Perfetti, 1995 ; Frost, 1998). De plus, nombre de travaux montrent que la capacité à manipuler des unités phonologiques à l'oral, de manière implicite (capacité épi-phonologiques) ou explicite

(métaphonologie), constitue un pré-requis pour l'apprentissage de la lecture (Gombert, 2003 ; pour une revue, voir Ecalle & Magnan, 2002) : il existe une forte corrélation entre la réussite de cet apprentissage et les capacités métaphonologiques (Bruck & Treiman, 1990). Aussi, il n'est pas étonnant que l'un des troubles les plus fréquemment associés à la dyslexie concerne la phonologie. L'hypothèse phonologique postule que le déficit concerne uniquement les sons du langage : il s'agirait d'un trouble linguistique, portant sur les catégories abstraites de sous-unités du langage (pour une revue, voir Rosen, 2003). Pour cela, l'argument le plus fort est que les difficultés des dyslexiques à discriminer les phonèmes ne s'accompagnent pas forcément d'un déficit pour le traitement de stimuli analogues non-verbaux (Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997 ; Nitttrouer, 1999 ; Rosen, & Manganari, 2001). De même, la réduction de certaines manifestations électrophysiologiques accompagnant la perception d'un changement dans une série de syllabes, observée chez des adolescents dyslexiques, n'est pas observée pour de stimuli non-linguistiques (Schulte-Körne, Deimel, Bartling, & Remschmidt, 1998). Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Démonet (2001) ont même montré que les anomalies des enfants dyslexiques pour situer les frontières catégorielles dans un continuum acoustique diffèrent si le matériel est présenté aux enfants comme d'origine verbale ou non.

Selon cette hypothèse, chez les dyslexiques, les représentations des sons de la langue seraient imprécises, (Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000), les catégories phonémiques pertinentes pour la langue n'ayant pas pour eux de statut particulier (Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré, Sprenger-Charolles, 2004) et il semble aussi que les connaissances sur les phonèmes soit insuffisamment organisées (Bedoin, 2003 ; Krifi, Bedoin, & Mérigot, 2003). Les dysfonctionnements phonologiques constitueraient le déficit cognitif le plus largement représenté dans la population des dyslexiques et pourraient exister indépendamment des déficits mis en avant par les théories magnocellulaire et cérébelleuse (Ramus, & al., 2003). Ils se manifestent à différents niveaux et peuvent perturber la manipulation délibérée d'unités infra-lexicales, la mémoire auditivo-verbale ou la boucle phonologique en mémoire de travail.

Cette hypothèse est cohérente avec le constat d'anomalies corticales morphologiques dans la région périsylvienne gauche et de particularités des activations cérébrales lors de tâches phonologiques chez les dyslexiques, notamment une hypoactivité des régions temporales postérieures (Robichon, & Habib, 1998) et temporales inférieures gauches (Georgiewa, & al., 1999). Chez l'enfant dyslexique, Temple & al. (2001) ont montré, en *IRMf*, des configurations atypiques de l'activité cérébrale comparables à celles des adultes dyslexiques, avec notamment un déficit des réponses temporo-pariétales gauches lors du traitement phonologique de lettres écrites. Dans une simple tâche d'appariement de lettres, ces auteurs montrent aussi que les activations cérébrales des enfants dyslexiques sont plus faibles que chez les enfants contrôles dans le cortex extra-strié, ce qui témoigne aussi d'une anomalie des traitements alphabétiques, détectée sur des unités extrêmement simples. De même, Koenig, Kosslyn et Wolff (1991) ont montré que les enfants dyslexiques présentent un déficit de génération d'image mentale visuelle seulement lorsque l'image à construire est celle d'une lettre. Ce traitement inapproprié des lettres, dans leur dimension linguistique, nous paraît particulièrement intéressant étant donné que, dans nos expériences, nous étudions la

spécialisation hémisphérique associée au traitement global/local selon la catégorie (linguistique ou non) de l'information présentée à chaque niveau. Les enfants dyslexiques souffrant d'un déficit phonologique pourraient présenter des asymétries hémisphériques anormales pour les traitements des lettres hiérarchisées, étant donnés les rapports étroits du contenu avec le langage et la phonologie.

4.2. L'hypothèse cérébelleuse

Grâce à l'imagerie cérébrale, il est aujourd'hui reconnu que le cervelet est impliqué de manière plus forte qu'il ne l'était supposé dans les diverses activités cognitives et notamment la lecture (Thach, 1996). Un rapprochement effectué entre les déficits observés chez les personnes atteintes de lésions du cervelet et ceux souvent observés chez des enfants dyslexiques (dans 80% des cas selon Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001), constitue la base de l'hypothèse cérébelleuse de la dyslexie. Dans les deux cas, des troubles de l'estimation du temps, de la coordination motrice, du tonus musculaire, de l'équilibre et un déficit de l'automatisation sont relevés (Fawcett, Nicolson, & Dean, 1996). Au-delà de cette analogie, cette théorie tente de justifier par quels mécanismes un déficit cérébelleux pourrait entraîner des difficultés d'apprentissage de la lecture. Rae et ses collègues (2002), avec une étude morphologique précise à partir de l'IRM, ont détecté une symétrie plus prononcée du cervelet chez des personnes dyslexiques depuis l'enfance, ils ont aussi montré une corrélation entre cette anomalie et la sévérité des déficits phonologiques. Une déficience du contrôle moteur fin est aussi mis en avant, et des activations cérébelleuses plus faibles chez les dyslexiques que chez les sujets contrôles dans des tâches d'apprentissage moteur ont été relevées en TEP (Nicolson & Fawcett, 1999) : ce déficit pourrait entraîner des difficultés de réalisation articulatoire (attestées par l'analyse fine des productions d'enfants dyslexiques, Lalain, Joly-Pottuz, & Habib, 2003 ; Fawcett, 2002) défavorisant l'élaboration de représentations phonologiques suffisamment précises, déficit très répandu chez les enfants dyslexiques (Nicolson, Fawcett & Dean, 2001). Le rôle central du cervelet dans l'automatisation de procédure pourrait aussi justifier le lien entre un hypothétique trouble cérébelleux et les difficultés à apprendre à lire de manière experte (Nicolson & Fawcett, 1999). Par exemple, dans un groupe de six enfants dyslexiques, les activations enregistrées au niveau du cervelet droit sont moindres par rapport à celles d'un groupe contrôle, dans une tâche d'exécution de séquences motrices apprises précédemment, suggérant qu'il n'y avait pas eu chez eux d'automatisation de ces séquences motrices (Nicolson, Fawcett, Berry, Jenkins, Dean & Brooks, 1999). Dans le domaine de la lecture, une faible capacité d'automatisation pourrait affecter le processus de conversion graphème-phonème.

Une faible automatisation des procédures reliant vision et langage pourrait être particulièrement à l'origine de la dyslexie, les troubles du maintien de l'équilibre, relevés chez certains dyslexiques, seraient quant à eux davantage reliés au syndrome d'hyperactivité souvent associé à la dyslexie (Raberger & Wimmer, 2003) et il en serait de même pour les déficits de la coordination motrice (Ramus, Pidgeon, & Frith, 2003).

4.3. L'hypothèse visuelle ou magnocellulaire

D'autres hypothèses d'explication de la dyslexie développementale confèrent un rôle plus déterminant aux troubles sensoriels. C'est le cas de l'hypothèse d'un déficit du traitement visuel, attribué à une anomalie des voies neuronales de type magnocellulaire. Cette hypothèse s'appuie sur des données psychophysiques (Slaghuis, & Ryan, 1999), électrophysiologiques (Livingstone Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991), mais aussi morphologiques, puisque les couches magnocellulaires contiendraient des cellules de taille anormale en cas de dyslexie et seraient désorganisées au niveau du corps genouillé latéral (Jenner, Rosen, & Galaburda, 1999). Le système magnocellulaire pourrait fonctionner relativement bien à la périphérie, les perturbations intervenant surtout dans ses projections vers les aires visuelles de plus haut niveau, et même vers le lobe pariétal, ce qui permet d'envisager une coordination entre les hypothèses magnocellulaire et visuo-attentionnelle de la dyslexie (Talcott, Hansen, Assoku, & Stein, 2000). Le système magnocellulaire se caractérise par ses réponses à des stimuli visuels brefs et à changement rapide. Le traitement des images de mots, mobiles sur la rétine, et la succession rapide de l'information visuelle en lecture en dépendraient donc en grande partie. Or, les enfants dyslexiques ont justement des difficultés à traiter des stimuli qui se succèdent rapidement (Visser, Boden, & Giaschi, 2004). Ce système est également spécialisé dans certains traitements repérés comme déficitaires chez certains dyslexiques : le traitement des basses fréquences spatiales, des contrastes (Lovegrove, Martin, Bowling, Blackwood, Badcock, & Paxton, 1982), la sensibilité au mouvement cohérent (Cornelissen Richardson, Mason, Foroler, & Stein, 1995 ; Eden Van Mater, Rumsey, Maisog, Woods, & Zeffiro, 1996). L'une des fonctions du système magnocellulaire étant de détecter les mouvements involontaires des images sur la rétine, afin de stabiliser le regard, son déficit s'accompagnerait d'une augmentation des mouvements oculaires involontaires, conduisant à intervertir des lettres ou à avoir l'impression de lire des lettres en mouvement (Eden, Stein, Wood, & Wood, 1995). Certaines tentatives de remédiation ont directement porté sur ces aspects (Stein, Richardson, & Fowler, 2000). Notons cependant que le trouble magnocellulaire concerne surtout des enfants avec un retard de lecture majeur (au moins quatre à cinq ans de retard de lecture).

Dans le domaine des déficits visuels de bas niveau pouvant être associés à la dyslexie, des travaux évoquant aussi une difficulté particulière à effectuer un groupement rapide d'objets sur la base de leur similarité de forme (critère gestaltiste que nous avons présenté comme pouvant organiser rapidement une configuration visuelle, qui attirera ensuite l'attention), lorsque les éléments sont organisés en ligne. Ce point nous paraît intéressant par rapport aux capacités de traitement configural. Des expériences utilisant la procédure de familiarisation et de préférence pour la nouveauté ont montré que des bébés de 6-7 mois (mais pas à 3-4 mois) sont sensibles à l'organisation en lignes ou en colonnes d'un ensemble d'éléments (une matrice de cercles et de carrés), lorsque cette organisation est basée sur la ressemblance de forme (Quinn, Bhatt, Brush, Grimes, & Sharpnack, 2002), ce qui n'est pas vrai à 3-4 mois moins que la familiarisation s'effectue à partir d'exemples plus variés (Quinn & Bhatt, 2005). Ce processus de groupement est plus tardif que celui permettant au bébé d'organiser spontanément, dès 3-4 mois, des éléments en lignes ou colonnes selon leur luminosité. Chez les adultes, un déficit curieux a été repéré par Lewis et Frick (1999) : certains sont insensibles à l'organisation en lignes

basée sur la similarité de forme des éléments (*row blindness*), sans que cela soit nécessairement assorti d'une difficulté pour les colonnes, et les auteurs montrent une corrélation entre ce déficit et des difficultés de lecture (ce déficit expliquerait 21% de la variance dans les épreuves de lecture). L'échantillon étudié n'est pas très grand et ce résultat est à interpréter avec prudence, mais 62% des sujets dyslexiques testés par ces auteurs présentent ce déficit. L'interprétation de cette corrélation est délicate, mais il est peu probable que l'habileté à effectuer les groupements en lignes soit conditionnée par la pratique de la lecture, car les sujets de l'expérience n'ont pas appris à lire en colonne et ils sont pourtant capables de faire des groupements en colonnes. Il se peut, au contraire, que la *row blindness* participe à l'établissement d'une dyslexie, ou que dyslexie et *row blindness* soient issues d'un déficit cérébral unique. Les auteurs font notamment un rapprochement entre la petite taille et la désorganisation des cellules de type Magno dans le corps genouillé latéral et le fait que la voie magnocellulaire soit particulièrement impliquée dans certains groupements selon des critères gestaltistes (Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991). La *row blindness* pourrait être en ce cas considérée, sinon comme une cause, en tout cas comme un marqueur potentiel de la dyslexie. Un argument va cependant dans le sens d'une relation de cause à effet : les personnes atteintes de *row blindness* disposent spontanément une page à lire selon un angle de 10-35° pour faire en sorte que les phrases ne forment pas des lignes horizontales. Elles n'ont généralement pas conscience de cette stratégie, qui pourrait en fait les aider à mieux percevoir l'alignement des lettres.

4.4. L'hypothèse auditive

Une autre hypothèse d'explication de la dyslexie est centrée sur un déficit perceptif, cette fois auditif, et impliquerait l'anomalie de cellules analogues à celles de la voie visuelle magnocellulaire, et situées dans le noyau géniculé médian (Galaburda, Menard, & Rosen, 1994) : elle serait à l'origine de difficultés de traitement temporel des sons rapides. Or, la reconnaissance des phonèmes, et en particulier des consonnes, nécessite une analyse extrêmement précise du signal sur de très courtes durées (souvent moins de 40 ms) et les dyslexiques pourraient avoir pour cela des difficultés. La discrimination de stimuli auditifs s'accompagne, à très bas niveau, d'un phénomène électrophysiologique, la Mismatch Negativity (MMN), permettant de repérer si le système auditif central détecte un changement dans un continuum de stimuli auditifs de manière pré-attentionnelle (Kujala & al., 2000). L'absence de cette manifestation électrophysiologique involontaire chez des dyslexiques est rapprochée de données comportementales attestant leur difficulté à discriminer et identifier des stimuli auditifs se succédant rapidement (McGivern, Berka, Languis, & Chapman, 1991 ; Reed, 1989). Tallal a mis en évidence un déficit du traitement de tels stimuli, chez certains enfants dyslexiques, pour qui il serait difficile d'entendre des distinctions acoustiques parmi les sons brefs successifs de la parole et, par suite, de développer une conscience phonémique et un code phonologique suffisamment précis pour l'apprentissage de la lecture. Si la durée des stimuli est artificiellement allongée, ce déficit disparaît, d'où l'idée de Tallal et Piercy (1975) d'entraîner intensivement les jeunes dyslexiques à traiter des stimuli verbaux artificiellement étirés, pour améliorer leur discrimination de phonèmes et les amener à

réussir la même tâche sur des stimuli progressivement moins modifiés. Ces travaux, appuyés sur l'idée de plasticité cérébrale, ont soulevé des polémiques, les critiques portent sur la population de cette étude, non exclusivement constituée d'enfants dyslexiques purs, mais aussi sur le rôle de l'allongement des stimuli dans l'efficacité de l'entraînement : le bénéfice apporté par les exercices intensifs sur des stimuli temporellement étirés ne diffère pas de celui obtenu avec des stimuli naturels (Rey, Martino, Esperrer, & Habib, 2001).

Certes, l'absence d'activité frontale gauche normalement relevée lors du traitement de stimuli acoustiques non-verbaux à changements rapides suggère que la difficulté des enfants dyslexiques dépasse le cadre du matériel linguistique (Temple et al., 2001). D'autres résultats maintiennent cependant l'opposition entre cette théorie du déficit auditif et la théorie du déficit phonologique, la difficulté des enfants dyslexiques pour traiter les phonèmes ne s'accompagnant pas toujours d'un déficit pour le traitement de stimuli analogues non verbaux (Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997 ; Rosen, & Manganari, 2001). Sans remettre totalement en question l'existence d'un trouble du traitement temporel rapide de l'information auditive, il semble que la composante verbale du stimulus soit déterminante.

Un modèle intéressant consiste à rapprocher le déficit magnocellulaire en vision et le déficit auditif, pour les considérer comme la double expression d'un même trouble général du traitement temporel de toute information rapide. La théorie magnocellulaire générale propose que le dysfonctionnement général de la voie magnocellulaire a une influence sur toutes les modalités sensorielles et a même des prolongements vers le cortex pariétal postérieur et le cervelet (Stein & Walsh, 1997).

4.5. L'hypothèse du déficit visuo-attentionnel

4.5.1. Attention visuo-spatiale et lecture

La lecture est une activité complexe qui exige un encodage correct de l'identité et de l'emplacement de chaque lettre, ce qui implique des capacités visuo-attentionnelles. Vidyasagar (2004) explique que l'identification des lettres dans leur position exacte est possible grâce à un processus attentionnel sous-tendu par une aire pariétale postérieure, sélectionnant des groupes de lettres dans l'image du mot formée en région occipitale, pour qu'ils soient adressés progressivement aux régions temporales, alors capables de les identifier en prenant en compte, indirectement, leur position. Or, Casco, Tressoldi et Dellantonio (1998) observent une corrélation entre des performances en attention visuo-spatiale (recherche d'une lettre-cible parmi des distracteurs) et en lecture chez des enfants de 11-12 ans : ceux dont les performances sont les plus basses en barrage de cibles ont aussi un niveau de lecture significativement plus bas. De même, une étude longitudinale (Jacquier-Roux, Valdois, & Zorman, 2006) a montré que les capacités visuo-attentionnelles en grande section de maternelle étaient prédictives des performances en lecture en CP.

Ces observations peuvent enfin être rapprochées des déficits d'attention sélective

visuelle de certains dyslexiques, notamment en cas de dyslexie de surface (Marendaz, Valdois, & Walch, 1996), certains enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble phonologique majeur mais étant, par contre, déficients dans des épreuves visuo-attentionnelles connues pour dépendre du cortex pariétal (Jaskowski & Rusiak, 2005 ; Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004 ; Valdois, Gérard, Vanault, & Dugas, 1995). Un nombre croissant de travaux montre en effet que les compétences dans les domaines phonologique et d'attention visuo-spatiale contribuent de manière indépendante à expliquer les compétences en lecture (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2006). Les erreurs d'un enfant dyslexique ont par exemple été décrites comme ne pouvant s'expliquer que par un trouble d'attention visuo-spatiale : multiples erreurs visuelles, prise d'information partielle sur les mots et codage positionnel imparfait des lettres dans le mot (Valdois, Gérard, Vanault, Dugas, 1995 ; Valdois, 1996b). De plus, les progrès significatifs d'enfants dyslexiques en lecture et en orthographe après des rééducations ou programmes d'entraînement centrés sur divers traitements visuo-attentionnels (Valdois, & Launais, 1999), sur le maintien de la focalisation attentionnelle (Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola, & Mascetti, 2000) ou sur la réorientation du focus attentionnel (Facoetti & al., 2003a ; Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umiltà, & Mascetti, 2003b) confortent l'intérêt de l'hypothèse visuo-attentionnelle.

Nous présenterons cette approche attentionnelle de la dyslexie en deux parties. Nous exposerons d'abord les limites du cadre théorique classique de la double voie concernant les aspects visuo-attentionnels et décrirons comment un modèle plus récent propose d'y remédier. Nous ferons ensuite état des différents mécanismes d'attention visuo-spatiale pour lesquels des déficits ont été évoqués, afin d'amener notre hypothèse concernant un mécanisme particulier, pouvant être étudié au moyen d'expériences avec des stimuli hiérarchisés.

4.5.2. Cadres théoriques pour l'hypothèse de déficits visuo-attentionnels

Le modèle de la double voie offre un cadre peu propice à la compréhension des troubles visuo-attentionnels observés chez certains enfants dyslexiques car le mécanisme d'attention visuo-spatiale y sont peu évoqués. La théorie de Laberge et Brown (1989) constitue pour cela un cadre plus approprié. Selon ce modèle, l'attention serait mobilisée différemment selon la familiarité du mot à traiter. Les mots familiers pourraient faire l'objet d'un ajustement automatique et immédiatement efficace de la fenêtre attentionnelle sur l'ensemble du stimulus, alors que des mots moins fréquents ou des pseudo-mots impliqueraient une étape supplémentaire de focalisation séquentielle de l'attention sur les sous-unités (lettres, syllabes) les plus familières.

Ans, Carbonnel et Valdois (1998) s'appuient sur ces idées pour proposer un modèle connexionniste de la lecture, susceptible de rendre compte de différents déficits dans des cas de dyslexie. En outre, celui-ci tient compte de la dynamique d'apprentissage de la lecture ; il est donc davantage adapté pour une réflexion sur les dyslexies développementales. Il est sous-tendu par deux hypothèses principales : une interaction forte entre orthographe et phonologie et une auto-structuration du système basée sur le renforcement des connexions du réseau. Nous en présenterons ici les principales étapes (pour une description détaillée, voir Bosse, & Valdois, 2003 ; Valdois, Bosse, & Tainturier,

2004). Face à une entrée orthographique, la fenêtre visuo-attentionnelle (FVA) engloberait la totalité du mot (couche orthographique O1). L'activation des unités de O1 se propagerait à celles de la couche ME (mémoire épisodique) où sont stockées toutes les représentations orthographiques du lecteur. La ME générerait alors deux patterns correspondant au stimulus cible : l'un adressé à la couche orthographique O2, le second à la représentation phonologique P. Le système comparerait ensuite le pattern activé dans O1 au pattern adressé à O2. S'ils correspondent, alors P est acceptée et le mot est lu : cela correspond à la procédure par adressage, qualifiée ici de globale. Par contre, si O2 et O1 diffèrent (*i.e.*, si le stimulus n'est pas présent dans le stock lexical orthographique), cette procédure serait alors en échec et le traitement basculerait en procédure analytique. La FVA se réduirait pour cela à la plus large portion du stimulus reconnaissable par le système, traitée sur le même mode que dans la procédure globale, jusqu'à la comparaison de O1 et O2. S'ils sont identiques, la forme phonologique équivalente à la portion du stimulus traitée serait stockée en mémoire temporaire phonologique (MTP) et la FVA se décalerait à la portion suivante du stimulus. Une fois toutes traitées, les unités seraient fusionnées en une séquence phonologique entière et le mot pourrait être lu.

L'originalité de ce modèle est multiple. Il ne nécessite pas de système de règles de conversion grapho-phonémiques et décrit une procédure unique, par activation de traces lexicales mémorisées. Il décrit bien deux voies de lecture distinctes mais recrutant les mêmes sous-systèmes. Leurs mécanismes sont identiques, seule la taille de la FVA (déterminée par la familiarité des mots) et le mode de d'implication des composants phonologiques (en une étape vs. en plusieurs étapes successives) les différencient. Dans ce modèle, des composantes phonologiques et visuo-attentionnelles ont leur place, et il devient possible d'envisager des perturbations des unes ou des autres dans des formes différentes de dyslexie.

Dans les termes de ce modèle, la dyslexie développementale phonologique découle d'une difficulté à acquérir les traces mnésiques des segments de mots, qui entraînerait une difficulté majeure en lecture de non-mots et, secondairement, ralentirait l'acquisition des représentations orthographiques spécifiques des mots. Cela rendrait compte des profils comportementaux de dyslexiques de type mixte, alors que le trouble sous-jacent est de nature purement phonologique.

Dans ce cadre, la dyslexie développementale de surface serait, quant à elle, caractérisée par un trouble visuo-attentionnel avec une réduction de la taille de la FVA altérant la procédure d'adressage. Concrètement, la quantité d'éléments visuels distincts pouvant être traités en parallèle serait réduite (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2006). Alors que des segments de mots seraient bien mémorisés, le stockage de traces-mots et donc l'acquisition de représentations orthographiques serait entravés, rendant difficile la lecture de mots irréguliers. De plus, la réduction de la FVA gênerait certaines conversions graphème-phonème pour les di- et trigraphes et compromettrait surtout le traitement en parallèle des unités infra-lexicales. La répartition de l'attention ne pourrait se faire de façon homogène, complète et efficace sur le mot. Cela pourra aboutir, là aussi, à un profil comportemental mixte alors que le trouble cognitif sous-jacent est purement visuo-attentionnel.

Dès lors, il semble de plus en plus nécessaire de ne pas se contenter de la description du profil comportemental, mais de caractériser le trouble cognitif responsable de la dyslexie du patient et de créer des outils permettant d'en détecter la nature pour adapter la prise en charge. C'est ce à quoi cette dernière partie de notre recherche se propose de contribuer.

4.5.3. Données sur les déficits de divers mécanismes visuo-attentionnels

La perturbation de plusieurs mécanismes d'attention visuo-spatiale a été évoquée par divers travaux chez des enfants dyslexiques. Il s'agit essentiellement de troubles relevant de l'attention sélective et impliquant des aires corticales pariétales (Jaskowski & Rusiak, 2005 ; Wimmer, Hutzler, & Wiener, 2002) ; l'alerte n'est par exemple pas en cause (Bednarek, & al., 2004). Nous parlerons tout d'abord d'un déficit de l'orientation volontaire (endogène) de l'attention, qui se traduit notamment par des difficultés à rechercher une cible parmi de multiples distracteurs. A partir de l'examen de la littérature sur le sujet, il semble que trois types d'explications se dégagent pour rendre compte de ces difficultés. Nous verrons successivement que peuvent être évoquées 1/ une distribution anormale de l'attention dans l'espace, 2/ des difficultés de focalisation attentionnelle basées sur un problème de taille de la fenêtre visuo-attentionnelle, 3/ des difficultés de filtrage liées au déficit de mécanismes d'inhibition. Notre hypothèse prendra place dans ce dernier type d'explication.

Des difficultés d'orientation volontaire de l'attention ont été décrites chez des enfants dyslexiques. Dans des tâches de recherche de cibles, ils sont en effet plus perturbés que les sujets contrôles lorsque le nombre de distracteurs augmente (Stein, 1991). Ils présentent en particulier un déficit marqué lorsqu'ils doivent rechercher activement des O parmi des Q (condition nécessitant un traitement sériel/attentionnel), alors que leurs performances sont dans la norme lorsque la tâche implique un traitement automatique (recherche d'un Q parmi des O) (Marendaz, Valdois, & Walch, 1996 ; Vidyasagar & Krammer, 1999 ; voir aussi Casco & Prunetti, 1996 pour des enfants mauvais lecteurs). Des expériences dans lesquelles l'orientation de l'attention est dirigée par l'apparition d'un indice périphérique montrent aussi certaines anomalies de l'orientation exogène de l'attention, un tel indice n'étant pas efficace si le SOA est très court (Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola, & Mascetti, 2000), ce qui témoigne d'une certaine inertie de l'attention et conduit à l'idée d'une distribution attentionnelle assez diffuse chez les dyslexiques.

Une distribution anormale de l'attention dans l'espace a été évoquée essentiellement dans les travaux de Facoetti et son équipe. Ils montrent par exemple que la distribution de l'attention de part et d'autre d'un point de fixation n'est pas la même chez les personnes dyslexiques et chez les sujets contrôles (Facoetti, Paganoni, & Lorusso, 2000) : alors que la détection d'une cible est d'autant plus difficile que son excentricité s'accroît par rapport au point de fixation central chez les sujets contrôles, les enfants dyslexiques ne sont pas influencés par ce facteur, ce qui traduirait une distribution plus diffuse de l'attention dans l'espace. Cette caractéristique de la distribution spatiale des ressources se vérifie aussi lorsque la tâche est plus difficile, parce qu'il s'agit de rechercher une cible parmi de nombreux distracteurs.

Par ailleurs, cette attention, bien que diffuse, se caractériserait aussi par une distribution asymétrique à gauche et à droite (Hari & Koivikko, 1999). Dans des tâches de recherche visuelle, les omissions de cibles sont par exemple plus fréquentes dans le champ visuel gauche que dans le champ droit (Fowler, Riddell, & Stein, 1990). De plus, alors que le traitement d'une cible centrale est détérioré chez des enfants contrôles par la présence proche d'un stimulus visuel ('flanker') dont le contenu évoque une réponse incompatible avec celle de la cible, que ce distracteur soit présenté à sa gauche ou à sa droite, les enfants dyslexiques sont perturbés de manière disproportionnée par un distracteur à droite, et de manière anormalement faible par un distracteur à gauche (Facoetti, & Turatto, 2000). Un tel résultat contribue à alimenter l'hypothèse d'un trouble qualifié de 'mini-négligence gauche' chez les enfants dyslexiques. Celui-ci pourrait entraver la lecture en réduisant les possibilités de saccades régressives. Ces résultats témoignent aussi d'une difficulté à inhiber une information visuelle non pertinente située à droite et nous reviendrons sur cette difficulté impliquant un mécanisme inhibiteur. Des épreuves réalisées avec un indigage spatial exogène sont aussi interprétables dans les termes de cette répartition anormale de l'attention à gauche et à droite. De tels indices exercent chez les sujets contrôles le même effet dans les champs gauche et droit, alors que l'effet est plus fort à gauche et presque inexistant à droite chez les dyslexiques (Facoetti, Turatto, Lorusso, & Mascetti, 2001). Le faible effet d'indigage à droite pourrait s'expliquer par une concentration de l'attention déjà mobilisée de ce côté, par défaut, chez les dyslexiques. Cela expliquerait qu'un indice exogène à droite n'ait que peu d'impact. Dans l'ensemble, la réduction de l'attention à gauche et la focalisation par défaut à droite sont interprétées par les auteurs comme le produit d'un dysfonctionnement de structures cérébrales dans le lobe pariétal droit, puisque des patients atteints de lésions cérébrales dans cette région présentent les mêmes particularités. Des données en potentiels évoqués confortent aussi cette idée (Wimmer, Hutzler, & Wiener, 2002). Ce type d'interprétation, clairement centré sur les processus attentionnels, n'est pas incompatible avec la théorie magnocellulaire de la dyslexie, puisque le lobe pariétal reçoit des informations majoritairement issues de la voie magnocellulaire.

En dehors des aspects relatifs à l'orientation, l'attention visuo-spatiale des dyslexiques présenterait aussi des anomalies pour la focalisation, qui implique notamment le contrôle de la taille de la fenêtre attentionnelle. Nous avons vu que l'attention des dyslexiques était répartie assez largement, mais de façon diffuse : cela peut traduire des difficultés à adapter la fenêtre attentionnelle, opération qui participe au filtrage. Les bons lecteurs parviennent à ajuster le faisceau attentionnel sur les unités familières (le mot entier, s'il est familier, des unités infra-lexicales s'il est non familier). Comme dans les tâches de recherche visuelle, l'apprentissage de la lecture nécessite ces mécanismes pour permettre l'encodage de la position des lettres lors de leur identification dans la séquence. Dans les deux tâches, un faisceau attentionnel dirigé par le cortex pariétal sélectionnerait successivement, sur le cortex visuel primaire, des blocs d'une à deux lettres dans l'ensemble des 7 ou 8 caractères extraits lors d'une fixation oculaire. Grâce à cette modulation attentionnelle pariétale, l'information dans le cortex visuel primaire serait adressée séquentiellement aux régions temporales qui identifieraient ainsi les lettres en tenant compte de leur position (Vidyasagar, 2004). L'étude d'un cas d'enfant dyslexique de surface montre justement chez lui un déficit spécifique de l'encodage de l'ordre des

symboles visuels (Romani, Ward, & Olson, 1999). Chez l'enfant dyslexique, ce mécanisme pourrait donc être entravé, soit à cause d'un manque de précision des informations visuelles procurées par un système magnocellulaire déficient au niveau du noyau géniculé latéral (Iles, Walsh, & Richardson, 2000), soit à la suite d'une détérioration de plus haut niveau impliquant le cortex pariétal lui-même. Cette façon d'expliquer les choses revient à dire que les dyslexiques souffriraient d'une réduction de la fenêtre attentionnelle, c'est-à-dire d'une réduction de la taille de l'espace sur lequel ils sont capables d'extraire de l'information en parallèle pour la traiter de manière précise (*i.e.*, à la fois pour identifier les unités et coder leurs positions). C'est en ces termes que Bosse, Tainturier et Valdois (2006) décrivent par exemple une réduction de l'empan visuo-attentionnel.

Le filtrage de l'information est un processus qui n'implique pas seulement le mécanisme d'ajustement d'une fenêtre attentionnelle, il se fonde aussi sur un processus d'inhibition de l'information non pertinente. Les travaux de Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umiltà et Mascetti (2003) ont, ici encore, apporté des éléments importants. Ces auteurs ont proposé une tâche d'indigage (indices valides, non-valides, ou neutres). Ils évaluent la participation d'un mécanisme d'inhibition en comparant les performances dans les conditions non valide et neutre. En effet, en condition non valide, l'indice conduit par exemple à sélectionner une région à gauche, ce qui correspondrait à un ajustement de la fenêtre dans le champ gauche et à une inhibition de la région droite ; la cible, qui apparaîtra à droite dans notre exemple, sera donc particulièrement difficile à traiter pour ces deux raisons. Un bon moyen d'évaluer la part que cet effet négatif doit au mécanisme d'inhibition est de comparer les résultats en condition non valide et en condition neutre, cette dernière n'ayant, quant à elle, pas permis d'inhiber quoi que ce soit. Aussi, l'observation d'une différence de performances entre les conditions neutre et non valide indique que le sujet a mis en œuvre un mécanisme d'inhibition. Or, Facoetti et ses collègues (2003) ont montré que, contrairement aux sujets contrôles, les dyslexiques ne présentent pas cet effet. Il semble donc que ces personnes présentent un déficit d'inhibition dans le domaine visuo-spatial.

Concernant les capacités d'inhibition des informations selon leur excentricité par rapport à l'information centrale pour la réponse, les travaux de Geiger et de ses collègues peuvent être évoqués. Ils confirment eux aussi que l'attention est distribuée de façon diffuse sur un large espace, et l'information la plus périphérique, normalement filtrée, fait l'objet d'un traitement trop approfondi chez certains dyslexiques. Non inhibée, cette information perturbe le traitement d'une cible centrale. Ces personnes subissent non seulement un très fort masquage de la cible centrale par un distracteur très proche (Pernet, Valdois, Celsis, & Démonet, 2006 ; Geiger & Lettvin, 1997), mais sont aussi anormalement perturbées par des distracteurs très éloignés (surtout s'ils sont à droite). Chez les personnes non dyslexiques, l'ensemble des distracteurs éloignés est au contraire soumis à un processus actif (le 'masquage latéral') qui les réduit au statut de simple texture permettant de bien faire ressortir la forme sur le fond (Geiger, Lettvin, & Fahle, 1994). Chez les personnes dyslexiques, ce processus actif de masquage des éléments distracteurs éloignés ne serait pas harmonieusement réparti dans le champ visuel et serait peu performant dans le champ correspondant au sens de la lecture

(champ droit dans notre type d'écriture), mais pourrait faire l'objet d'une rééducation efficace (Geiger & Lettvin, 2000). En lecture, cette difficulté de filtrage de l'information située à droite pourrait entraver le traitement optimum de la lettre ou du mot visé.

Des résultats récents ont montré que la distribution particulière du masquage latéral est un phénomène commun à différents types de dyslexie. Pour notre part, nous proposons une hypothèse supposant le déficit d'un mécanisme d'inhibition assez précis (dédié à l'inhibition de l'information sur les détails d'un objet comportant de l'information à plusieurs niveaux de complexité) et spécifique à un type de dyslexie. Les enfants concernés seront sélectionnés parce qu'ils présentent une dyslexie sans troubles phonologique majeur, et nous écarterons de notre échantillon les enfants qui, parmi eux, un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H).

Expériences 7 et 8

Dans une perspective pluraliste de l'étude des troubles cognitifs des enfants dyslexiques, nous avons posé l'**Hypothèse 4** selon laquelle des déficits cognitifs distincts peuvent être à l'origine de difficultés persistantes d'apprentissage de la lecture, et donner lieu à des types de dyslexie différents. La partie expérimentale de ce chapitre vise à tester la spécificité de deux anomalies distinctes, associées sélectivement à l'une ou l'autre forme de dyslexie.

Le critère que nous avons choisi pour opposer deux groupes de jeunes dyslexiques est celui de la présence ou non de troubles phonologiques majeurs. Autrement dit, dans cette recherche, les enfants n'ont pas été sélectionnés sur la base de la présence de troubles visuo-attentionnels (qui auraient par exemple pu être détectés avec des tests tels que ceux de la batterie de KITAP (Zimmerman, Gondan, & Fimm, 2002), afin de ne pas introduire au départ, dans le choix de l'échantillon, un biais qui aurait pu favoriser l'observation d'un déficit visuo-attentionnel, tel que celui dont il est question dans nos **Hypothèses 4c et 4d**. Pour des raisons similaires, nous avons systématiquement écarté de l'échantillon les enfants présentant un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H).

Expérience 7

Cette expérience est l'épreuve que nous avons proposée aux enfants normo-lecteurs dans l'Expérience 5 du Chapitre 2. Elle demande de discriminer des cibles qui peuvent apparaître, de manière non prédictible, au niveau global ou au niveau local (paradigme d'attention divisée) et propose des lettres et des dessins d'objets hiérarchisés présentés dans des blocs séparés. Elle vise à tester l'hypothèse d'une anomalie de la dominance hémisphérique associée au traitement de catégories de stimuli visuels linguistiques ou non, chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique majeur. Cette anomalie devrait se traduire aussi par une modulation moins nette de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local par la catégorie des stimuli

hiérarchisés présentés. Pour l'Expérience 7, les hypothèses opérationnelles sont donc les suivantes.

Hypothèse opérationnelle 4a : les enfants dyslexiques sans de trouble phonologique majeur devraient présenter, comme les enfants contrôles appariés en âge chronologique et éventuellement les enfants contrôles appariés en âge lexicale, un avantage de l'HG seulement pour le bloc présentant des lettres hiérarchisées. Cette dominance ne devrait pas apparaître pour les dessins d'objets, certes nommables mais codant moins directement une information linguistique, et une dominance de l'HD pourrait même apparaître pour cette catégorie. En revanche, chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique majeur, nous ne devrions pas observer de différence de dominance hémisphérique selon la catégorie présentée (lettres ou dessins d'objets).

Hypothèse opérationnelle 4b : cette hypothèse est étroitement liée à la précédente. Elle prédit que chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique majeur, comme chez les personnes n'ayant pas de problème d'apprentissage de la lecture, une modulation devrait être exercée par la catégorie (Lettre ou Dessin d'objet) sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local. Etant donné que nous ne testons pas ici des adultes, il se peut que ces phénomènes soient néanmoins moins marqués que dans les expériences conduites dans le Chapitre 1. Toutefois, nous attendons chez ces enfants une dominance de l'HG pour le traitement local des lettres hiérarchisées, mais pas pour les dessins d'objets, pour lesquels une dominance de l'HD pourrait même apparaître. Au niveau global, il se peut que l'HD ne présente une dominance que pour le traitement des lettres hiérarchisées, avec une certaine dominance de l'HG pour le traitement des dessins d'objets à ce niveau, à l'image des résultats de Fink et ses collègues (1996, 1997b). Par contre, dans le cas des enfants dyslexiques avec trouble phonologique, nous prédisons que la catégorie ne modulera pas l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global et local : quelle que soit la catégorie, nous attendons chez ces enfants une dominance de l'HG pour le traitement au niveau local et une dominance de l'HD pour celui du niveau global.

1. Méthode

1.1. PARTICIPANTS

Un groupe de 28 enfants dont 4 filles et 24 garçons (moyenne d'âge = 11.1 ans et écartype = 1.54) atteints d'une dyslexie développementale a été testé à l'Hôpital Debrousse avec l'aide d'une neuropsychologue, Anne de Bonfils-Mérigot (Mérigot, 2003). Ces enfants bénéficient d'une rééducation orthophonique pour trouble du langage écrit et sont reçus dans le cadre d'une consultation en Hôpital de jour. Des consultations neuropédiatriques et neuropsychologiques ont permis de faire le diagnostic de 14 enfants présentant une dyslexie sans trouble phonologique et de 14 autres enfants présentant des troubles phonologiques majeurs. Les enfants des deux groupes ont été appariés deux à deux en âge lexicale et les deux groupes sont appariés globalement en âge chronologique (Voir annexe 1). Ces enfants ont ensuite été appariés à un groupe contrôle selon l'âge chronologique d'une part et selon l'âge lexicale d'autre part. Pour cela, un

enfant contrôle a été choisi pour chaque couple de dyslexiques, ce qui fait 14 enfants contrôles pour l'âge lexique et 14 enfants contrôles pour l'âge chronologique. Les enfants contrôles ont un niveau de lecture normal pour leur âge, tel qu'évalué avec le test de l'Alouette. Tous les enfants ont une vue normale ou corrigée et sont droitiers (plus de 80% de réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh).

1.2. SÉLECTION DES PATIENTS DYSLEXIQUES : CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

La sélection des enfants pour cette recherche s'est faite à partir des critères d'inclusion et des critères d'exclusion ci-dessous.

1.2.1. Critères d'inclusion

- Retard en lecture et déchiffrement supérieur à 18 mois par rapport à l'âge réel de l'enfant, mesuré par l'épreuve de l'Alouette (Lefavrais, 1976). Les sujets ont pour consigne de lire un texte de 265 mots le plus rapidement, tout en faisant le moins d'erreurs possibles. Il s'agit d'un texte sans signification, mesurant donc les aptitudes de déchiffrement. Nous notons le nombre d'erreurs et le nombre total de mots lus, afin de déterminer l'âge lexique, ensuite comparé à l'âge chronologique. Ce test, étalonné avec 800 enfants de 6 à 14 ans, permet de quantifier le retard en lecture de l'enfant par rapport à son âge réel.
- Enfants droitiers ayant un quotient de latéralité supérieur ou égal à 80 % selon la version abrégée du test d'Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Ce questionnaire est composé de 10 items sur la préférence manuelle relative à des actions de la vie quotidienne.
- Un quotient intellectuel supérieur à 85 (zone normale ou supérieure), mesuré à l'aide du WISC-III ou du WISC-IV. Ces deux tests sont composés de 10 sous-tests obligatoires. Le WISC-III permet de calculer un QI Verbal (QIV), un QI de Performance (QIP), et un QI Total. Le WISC-IV, pour sa part, est constitué de 5 indices : Compréhension Verbale (ICV), Raisonnement Perceptif (IRP), Mémoire de Travail (IMT), Vitesse de Traitement (IVT) et QI Total. S'il n'y a pas de dissociation significative entre les QI ou les Indices, nous nous basons sur le QI Total pour l'inclusion. En cas de dissociation significative, nous sélectionnons le meilleur QI ou Indice comme critère d'inclusion.

1.2.2. Critères d'exclusion

- Présence de Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) selon les critères diagnostiques DSM-IV de ce syndrome, remplis avec les parents lors d'un entretien clinique dirigé.
- Présence de troubles ophtalmologiques et ORL, vérifiée au préalable lors de consultations médicales réalisées en libéral.
- Présence de troubles neurologiques acquis (épilepsie, tumeur cérébrale, traumatisme

crânien, neurofibromatose de type 1...).

- Présence de troubles psychiatriques ou de carence socio-éducative patents.
- Antécédent de retard de langage oral dans la petite enfance (critère d'exclusion seulement pour les enfants dyslexiques sans trouble phonologique)
- Ces critères d'inclusion et d'exclusion nous permettent de sélectionner des enfants dyslexiques présentant un retard significatif et durable dans l'acquisition de la lecture, mais ces critères ne nous renseignent pas sur le type de dyslexie de ces enfants.
- Nous avons donc, dans un second temps, réalisé un bilan complémentaire permettant d'évaluer les stratégies de lecture et d'écriture de ces enfants.

1.3. TYPOLOGIE DES PATIENTS DYSLEXIQUES

Généralement, dans la littérature, la typologie des enfants dyslexiques (surface versus phonologique) est uniquement basée sur leurs performances en lecture de mots isolés, en comparant la lecture de mots irréguliers à celle de non-mots. D'après le modèle révisé de la double voie (Coltheart, & al., 2001), un échec à la lecture de non-mots traduit une défaillance de la voie phonologique, alors que des performances déficitaires en lecture de mots irréguliers traduit un dysfonctionnement de la voie d'adressage. Est alors qualifié de dyslexique phonologique un enfant qui échoue de façon spécifique la lecture de non-mots du fait d'une mauvaise stratégie analytique, mais qui réussit bien la lecture des mots irréguliers. Inversement, un enfant dyslexique de surface réussit l'épreuve de lecture de non-mots et échoue celle de mots irréguliers.

Dans cette étude, nous ne sélectionnons pas les enfants dyslexiques uniquement sur leurs performances de lecture de mots irréguliers et de non-mots. En effet, si la prise en compte de ces seuls critères est classique, elle s'appuie toutefois sur le modèle à double voie, issu de la pathologie neurologique adulte acquise, et ne rend pas compte de la perspective développementale et notamment des interactions développementales entre les deux voies, analytique et lexicale. Le modèle de Frith (1986) prédit un développement séquentiel des différents stades d'apprentissage de la lecture : logographique, alphabétique et orthographique. Dans ce modèle, le stade alphabétique précède et est nécessaire au développement du stade orthographique, ce qui n'est pas anodin pour la mise en place des procédures de lecture. Par ailleurs, l'expérience clinique auprès d'enfants dyslexiques montre que l'atteinte précoce de la voie phonologique a une incidence sur le développement de la voie lexicale. Ainsi, l'atteinte précoce de la voie phonologique engendre une limitation secondaire du développement du lexique orthographique, sans que l'enfant ne présente de réel trouble spécifique à ce niveau. Un enfant avec un trouble phonologique va donc avoir des performances déficitaires en lecture de non-mots (traduisant un trouble de la voie phonologique), mais risque de présenter également de faibles performances en lecture de mots irréguliers (faiblesse fonctionnelle de la voie lexicale), et être ainsi qualifié de dyslexique mixte (atteinte des deux voies). Il apparaît donc que la seule comparaison entre les performances en lecture de mots irréguliers et de non-mots ne suffit pas pour avoir des indications sur le/les trouble(s) cognitif (s) à l'origine de la dyslexie d'un enfant.

Dans une conception unitaire, nous avons vu que la majorité des auteurs s'accordent actuellement à penser qu'un trouble cognitif de nature phonologique est à l'origine de la dyslexie développementale. Dans une conception pluraliste, au contraire, différents troubles cognitifs pourraient rendre compte des différents sous-types de dyslexie. En nous inscrivant dans cette conception, nous avons donc choisi de sélectionner les enfants dyslexiques sur la base de leurs performances dans des épreuves permettant d'évaluer s'ils présentent ou non un trouble phonologique majeur. La sélection des enfants porte donc essentiellement sur la présence ou l'absence de troubles phonologiques, évaluées à partir de plusieurs épreuves. Il s'agit ainsi de composer deux groupes d'enfants dyslexiques appariés en âge lexique deux à deux, l'un des groupes présentant une dyslexie avec trouble phonologique, et l'autre non.

Six épreuves de mesure des habiletés phonologiques et métaphonologiques sont proposées pour l'évaluation du langage oral, assorties d'épreuves de lecture et d'écriture pour évaluer le langage écrit (BALE, Bilan Analytique du Langage Ecrit, issu des travaux du Laboratoire Cogni-Sciences et Apprentissages de l'IUFM de Grenoble, sous presse). Les épreuves de conscience phonologique ont permis d'étudier les capacités de l'enfant à identifier et manipuler les sons à l'intérieur des mots, afin d'apprécier la présence de troubles phonologiques. L'ordre de passation des épreuves était le même pour tous les enfants et conforme à l'ordre de leur présentation dans ce qui suit.

1.3.1. Epreuves d'évaluation du langage oral

- L'épreuve de répétition de non-mots permet d'évaluer la discrimination auditivo-verbale et la production phonologique de l'enfant. La tâche consiste à répéter 40 non-mots de différentes longueurs (2, 3, 4 et 5 syllabes), prononcés oralement par l'expérimentateur sans lecture labiale possible. Le taux de réussite est calculé à partir du nombre de non-mots correctement répétés.
- L'épreuve de jugement de rimes consiste à décider si deux mots présentés oralement riment ou non. La liste est composée de 40 couples de mots dont 10 items riment (R+) sans ressemblance orthographique (O-) (e.g., lapin-moyen), 10 items ne riment pas (R-) avec une ressemblance orthographique (O+) (e.g., ville-fille), 10 items R+O+ (e.g., chemin-moulin) et items R-O- (e.g., guerre-avion). La présence de couples similaires sur le plan orthographique permettait d'appréhender l'éventuel recours à une stratégie orthographique. Cette épreuve évalue la conscience phonologique de l'enfant sur l'unité rime, sans production. Nous mesurons le nombre de réponses correctes pour les couples de mots qui riment ou ne riment pas.
- Dans la tâche de suppression du phonème initial ou final, un mot est prononcé oralement, auquel le sujet doit enlever soit le premier soit le dernier phonème, pour prononcer le reste. Cette épreuve, qui comporte 20 items, évalue les capacités de manipulation phonémique (unité phonème) et de production. La nature du premier phonème varie : 4 items commencent par une consonne simple (e.g., capitaine), 9 par un groupe consonantique (e.g., drapeau) et 7 par une voyelle correspondant à un digraphe (e.g., outil) permettant de mettre en évidence un éventuel biais orthographique. Le taux de réussite correspond à la quantité globale de productions

correctes. Nous mesurons le nombre de productions correctes après suppression du premier ou du dernier phonème.

- Dans l'épreuve de segmentation phonémique, il s'agit de décomposer toutes les unités phonèmes d'un mot prononcé oralement par l'expérimentateur (e.g., outil □ [u] [t] [i/]). La liste comporte 20 mots de 3, 4, 5 ou 6 phonèmes. Elle évalue la capacité de segmentation phonémique de la chaîne parlée. Nous mesurons le nombre de productions correctes.
- Dans la tâche de fusion des premiers phonèmes (acronymes auditifs), le sujet doit identifier le premier phonème de chacun des deux mots énoncés successivement par l'examineur, pour produire un mot formé par la fusion de ces deux phonèmes. Cette épreuve comporte 15 items et mesure les capacités de segmentation et de fusion phonémique. Nous comptons le nombre de mots correctement formés.
- Pour la tâche de catégorisation de sons, parmi 4 mots prononcés oralement successivement, trois ont un son en commun, et l'enfant doit énoncer l'intrus. Cette épreuve évalue les capacités de repérage d'assonances correspondant à des constituants syllabiques, attaque ou rime ; elle comporte 20 items. Le test recrute des ressources mnésiques importantes. Nous mesurons le nombre d'intrus correctement détectés.

A l'issue de la réalisation de ces différentes épreuves, nous retenons deux groupes d'enfants dyslexiques : avec ou sans trouble phonologique. Le groupe dyslexique avec trouble phonologique est constitué d'enfants ayant échoué (au-delà de – 1,5 écart-type) à au moins quatre des six épreuves présentées ci-dessus. Le groupe dyslexique sans trouble phonologique est composé d'enfants n'ayant échoué (au-delà de – 1,5 écart-type) à aucune ou une seule des six épreuves phonologiques et métaphonologiques.

1.3.2. Épreuves d'évaluation du langage écrit

Nos critères d'inclusion dans l'un ou l'autre groupe de dyslexiques portent également sur les performances des enfants en lecture et écriture de mots irréguliers et de non-mots isolés. Pour être classé dans le groupe d'enfants dyslexiques avec trouble phonologique, l'enfant devait présenter une lecture et une écriture de non-mots déficitaires (au-delà de – 1,5 écart-type). Pour être classé dans le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique, l'enfant devait être dans la norme pour la lecture et l'écriture de non-mots, mais présenter une lecture et une écriture de mots irréguliers déficitaires (au-delà de – 1,5 écart-type).

L'épreuve de lecture de mots et de non-mots comportait 120 items : 40 mots irréguliers de haute et basse fréquence, 40 mots réguliers de haute et basse fréquences appariés aux mots irréguliers et 40 non-mots appariés en termes de longueur et de difficulté orthographique. Pour chaque liste, le temps de lecture moyen, le pourcentage de mots correctement lus, et les types d'erreurs ont été relevés.

L'épreuve de dictée est composée de 50 mots et non-mots prononcés oralement à l'enfant, qui devait les orthographier. Elle évalue la sensibilité à la régularité et à la complexité orthographique en écriture. Elle comprenait 10 mots réguliers, 10 mots

irréguliers simples, 10 mots irréguliers complexes et 20 non-mots, tous appariés en longueur et complexité orthographique.

1.4. STIMULI

Les stimuli sont identiques à ceux de l'Expérience 5.

1.5. MATÉRIEL ET PROCÉDURE

Le matériel et la procédure sont identiques à ceux de l'Expérience 5 proposés aux enfants normo-lecteurs dans le Chapitre II.

2. Résultats

Nous avons effectué plusieurs analyses de la variance à mesures répétées sur les temps de réponse (TR) pour les décisions exactes et sur les pourcentages d'erreurs. Dans tous les cas nous avons exclu de l'analyse les temps déviants s'écartant de plus de deux écart-types de la moyenne de la condition pour le participant concerné.

Une première analyse générale compare directement les performances des deux groupes d'enfants dyslexiques, les uns présentant un trouble phonologique important, les autres pas. Cette analyse est conduite avec 4 facteurs intra-individuels à savoir, le niveau (global, local), le champ visuel (CVD-HG, CVG-HD), la catégorie (lettre, dessin) et le nombre de répétitions d'un même traitement avant un changement de niveau (2, 4 répétitions) et le groupe comme facteur inter-individuel.

Étant donné nos hypothèses selon le type de dyslexie, et compte tenu de la participation du facteur groupe à certaines interactions, nous avons approfondi l'exploration des données au moyen d'analyses portant séparément sur l'un et l'autre groupes de jeunes patients. Il s'agit également d'analyses de variance à mesures répétées, conduites avec les mêmes facteurs intra-individuels.

Enfin, l'ensemble est complété par des analyses comparant l'effet de nos facteurs intra-individuels sur les enfants dyslexiques et sur des groupes d'enfants contrôles : et il est de même pour l'exactitude des réponses. Dans deux de ces analyses (une sur les latences, l'autre sur les pourcentages d'erreurs), les trois groupes manipulés en facteur inter-individuel sont celui des dyslexiques avec trouble phonologique, celui des dyslexiques sans trouble phonologique et celui d'enfants de niveau de lecture normal et appariés en âge chronologique à chaque couple de dyslexiques. Dans deux autres analyses (l'une sur les latences, l'autre sur les pourcentages d'erreurs), les performances des deux groupes d'enfants dyslexiques sont comparées à celles d'un groupe d'enfants de niveau de lecture normal et appariés en âge lexique à chaque couple de dyslexiques.

L'analyse globale des données des enfants des deux groupes de dyslexiques montre tout d'abord que la vitesse de réponse et l'exactitude des décisions ne varient pas dans cette épreuve entre les deux groupes. Nous ne relevons pas non plus d'effet principal de ces facteurs niveau et champ. En revanche, le facteur répétition exerce une influence significative, $F(1, 26) = 28.41$, $p = .0001$, avec des latences plus longues lorsqu'un changement de niveau se produit après 4 répétitions (1339 ms) plutôt qu'après

2 répétitions (1222 ms). Par ailleurs, plus directement en lien avec nos hypothèses, l'interaction Catégorie X Niveau X Champ n'est que marginale, $F(1, 26) = 3.37$, $p = .078$, mais se manifeste de manière différente selon le type de dyslexie, comme l'indique l'interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe, $F(1, 26) = 4.26$, $p = .049$ sur les TR, illustrée en Figure 63.

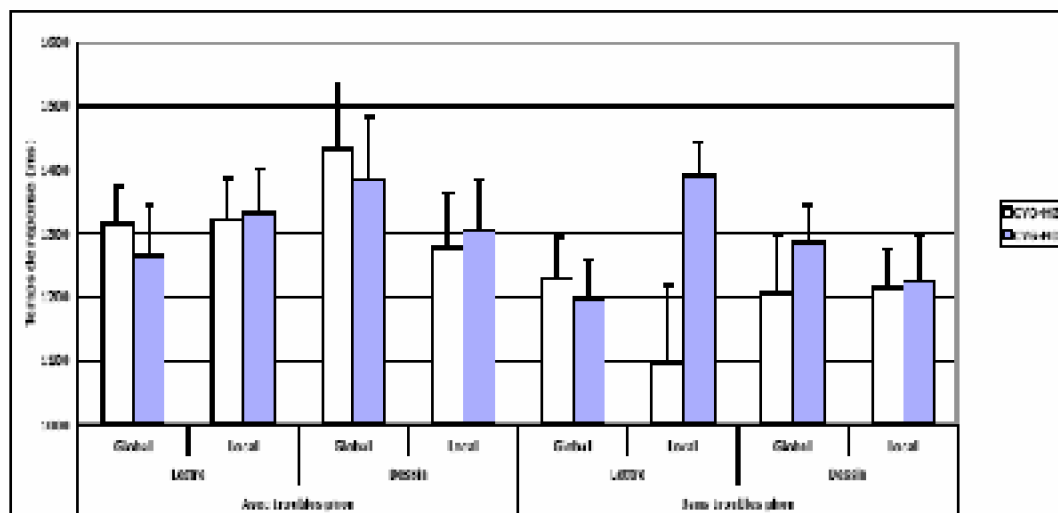


Figure 63. Temps de réponses et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques.

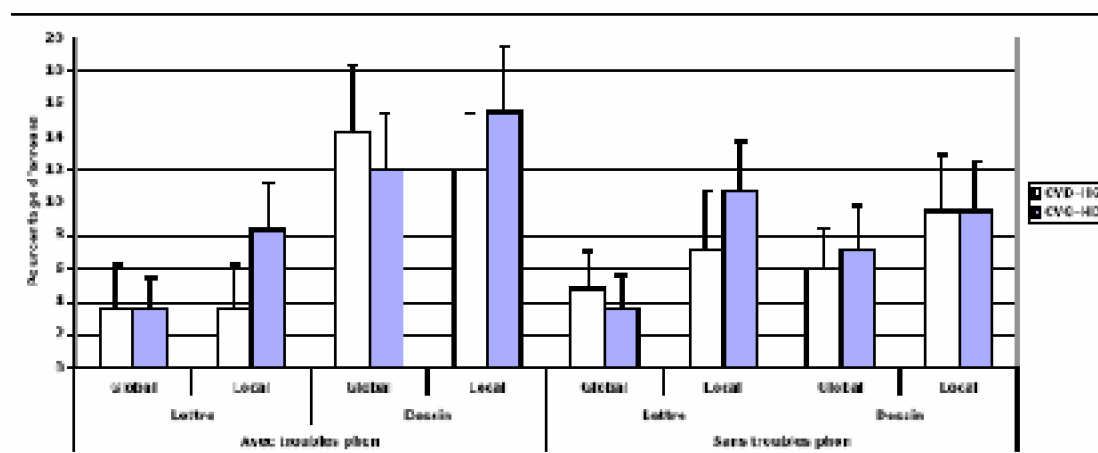


Figure 64. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques.

Les analyses réalisées séparément sur chaque groupe de jeunes patients permettent de décrire plus précisément en quoi l'asymétrie hémisphérique selon le niveau d'analyse est modulée par la catégorie de manière différente pour chaque type de dyslexie.

Tout d'abord, chez les enfants présentant une dyslexie sans trouble phonologique, le profil des performances est, à cet égard, conforme à celui des adultes normo-lecteurs. On observe en effet sur leurs latences une interaction Catégorie X Niveau X Champ, $F(1, 13) = 6.22$, $p = .027$. Elle s'explique tout d'abord par le fait que le traitement local fait l'objet

d'une dominance de l'HG dans le cas des lettres, $F(1, 13) = 13.58$, $p = .003$, mais pas dans celui des dessins, $F(1, 13) < 1$: au niveau local, la dominance hémisphérique semble donc essentiellement guidée par la catégorie des stimuli. Le contenu de l'information située au niveau local s'avère déterminant pour les performances. Comme le montre la Figure 63 pour ce niveau local, les réponses tendent très fortement à être plus rapides pour les dessins que pour les lettres lorsque le stimulus est plus directement adressé à l'HD, alors que ce sont les lettres qui tendent à être mieux traitées que les dessins dans le cas où le stimulus est plus directement adressé à l'HG, $F(1, 13) = 4.27$, $p = .16$. Pour ce qui est du niveau global, les comparaisons de moyennes ne font pas ressortir d'effets significatifs, mais la configuration des résultats est compatible avec les effets de dominance hémisphérique observés par Fink et ses collègues (1996, 1997b) selon les catégories. Ainsi, la description de la Figure 63 fait ressortir que le niveau global est traité légèrement plus rapidement en CVG-HD qu'en CVD-HG pour les lettres hiérarchisées, mais plus rapidement en CVD-HG qu'en CVG-HD pour les dessins hiérarchisés. Cette dernière remarque ne s'appuie pas sur des comparaisons de moyennes significatives, mais contribue à expliquer l'interaction Catégorie X Niveau X Champ observée chez ces enfants. L'ensemble de ces effets chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique n'est pas contredit par les données sur les pourcentages d'erreurs. L'interaction Catégorie X Niveau X Champ n'est pas significative, mais l'observation de la

Figure 64 confirme qu'il n'y a pas d'échange rapidité-exactitude : bien que les comparaisons de moyennes ne soient pas significatives sur cette variable dépendante, nous voyons notamment qu'au niveau local, une dominance de l'HG pour les lettres se dessine, alors qu'il n'y a pas de différence entre les champs visuels pour les dessins. De même, au niveau global, où aucune comparaison de moyenne n'atteint non plus le seuil de significativité, la configuration des performances est la même que celle obtenue avec les latences : les différences d'exactitude selon le champ visuel de présentation sont inverses pour l'une et l'autre catégories, avec des réponses plus exactes en CVG-HD qu'en CVD-HG pour les lettres globales et en CVD-HG qu'en CVG-HD pour les dessins au niveau global, inversion conforme à celle relatée par Fink et ses collègues (1996, 1997b).

La configuration n'est pas la même dans le groupe d'enfants dyslexiques avec trouble phonologique. Les latences de ces enfants présentent une interaction Catégorie X Niveau, $F(1, 13) = 4.73$, $p = .049$, traduisant leur plus grande vitesse de traitement des lettres que des dessins seulement au niveau global, $F(1, 13) = 5.71$, $p = .033$, et pas au niveau local, $F(1, 13) < 1$. Contrairement aux enfants dyslexiques sans trouble phonologique, on n'observe pas chez eux d'interaction Catégorie X Niveau X Champs, sur les temps de réponse, $F(1, 13) < 1$, ni sur les taux d'erreurs, $F(1, 13) < 1$. Conformément à l'hypothèse sur ce groupe d'enfants, ces derniers traitent les stimuli hiérarchisés en mobilisant des mécanismes hémisphériques latéralisés (eux-mêmes aussi assez faiblement) selon leur compétence pour l'un ou l'autre niveau, de la même manière quel que soit le contenu du stimulus. En effet, contrairement aux enfants sans trouble phonologique, nous ne relevons pas chez eux d'indice d'une influence de la prise en compte des catégories au niveau local sur la vitesse de réponse : il n'y a chez eux aucune dominance hémisphérique pour le traitement du niveau local, avec un $F(1, 13) < 1$ quelle

que soit la catégorie, alors qu'une dominance de l'HG est significative pour le traitement local des lettres chez les dyslexiques sans trouble phonologique. De plus, chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, au niveau local, l'HG ne permet pas un traitement plus rapide des lettres que des dessins, $F(1, 13) < 1$, pas plus que l'HD ne permet de traiter plus rapidement les dessins que les lettres, $F(1, 13) < 1$. Toujours au niveau local, mais sur les taux d'erreurs, nous observons qu'une tendance (non significative) se dessine pour un avantage de l'HG, mais celle-ci ne diffère pas non plus selon la catégorie. Enfin, il n'y a aucun indice de prise en compte de la catégorie pour le traitement du niveau global non plus, chez ces enfants avec trouble phonologique.

Les deux groupes d'enfants se différencient sur un autre point, en partie lié au précédent. Les indices de ce phénomène sont statistiquement trop faibles pour permettre une interprétation, ils apportent seulement de premiers éléments de réponse à une hypothèse, qui sera de nouveau testée dans la dernière expérience. Certains aspects des données suggèrent que les groupes de dyslexiques ne présentent pas le même profil de dominances hémisphériques pour le traitement des catégories lettres et dessins d'objets. L'interaction Catégorie X Champ X Groupe n'est certes pas significative sur les temps de réponse, mais l'observation des Figure 65 et Figure 66 montre que, chez les dyslexiques avec trouble phonologique, aucun indice de dominance hémisphérique n'apparaît pour l'une ou l'autre catégorie. Par contre, chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, nous notons un avantage significatif de l'HG sur l'HD dans le seul cas des lettres pour les temps de réponse, $F(1, 13) = 5.44$, $p = .036$, effet pour lequel il n'y a pas d'échange rapidité-exactitude : il n'est en effet pas contredit par l'observation du graphique sur les taux d'erreurs (voir Figure 66).

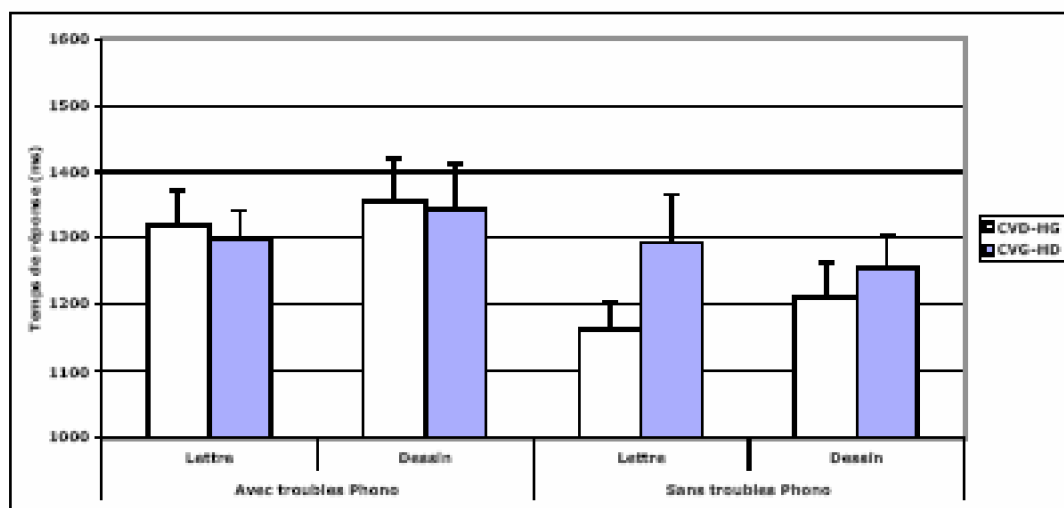


Figure 65. Les temps de réponses et erreurs standard selon la catégorie et le champ visuel, pour les deux groupes de dyslexiques.

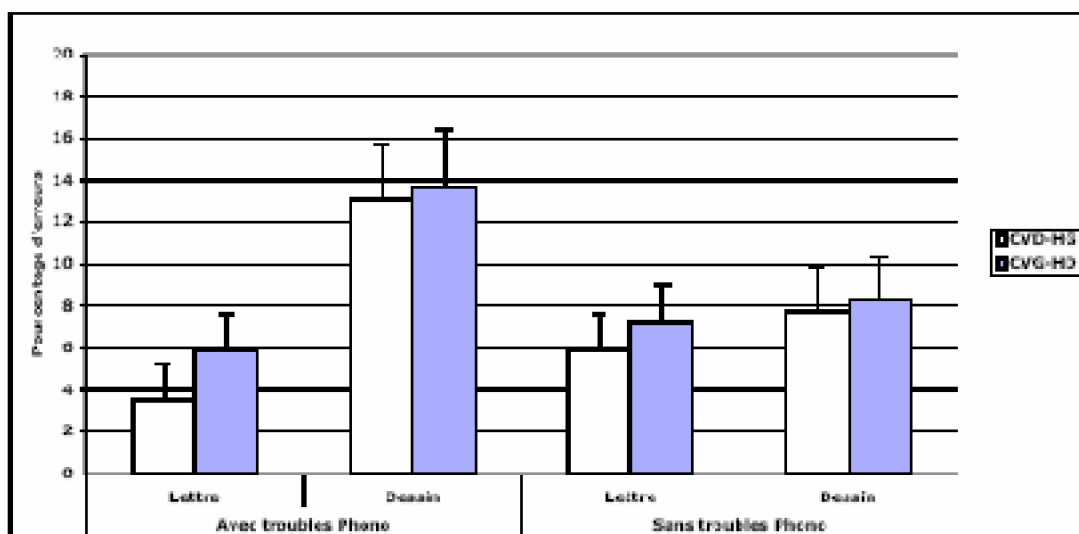


Figure 66. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon la catégorie et le champ visuel, pour les deux groupes de dyslexiques.

Pour ce qui est des **analyses impliquant des groupes contrôles**, nous présenterons d'abord les résultats concernant les temps de réponse, puis ceux relatifs aux taux d'erreurs. Cette présentation est orientée par la recherche d'une meilleure compréhension des particularités de la mise en place d'une modulation de l'asymétrie hémisphérique pour les traitements global/local par la catégorie des stimuli hiérarchisés.

Lorsque l'analyse porte sur les deux groupes d'enfants dyslexiques et le groupe apparié en âge chronologique, il n'apparaît pas de différence significative de vitesse de traitement entre les groupes, $F(2, 39) < 1$. Dans cette analyse complète, le seul effet qui ressort massivement est celui du nombre de répétitions avant un changement de niveau, $F(1, 39) = 32.37, p = .0001$. Il en est de même pour l'analyse portant sur les deux groupes de dyslexiques et le groupe apparié en âge lexique : malgré la différence d'âge réel, il n'apparaît pas de différence significative de vitesse de traitement entre les groupes, $F(2, 39) = 1.20, p = .31$ et l'effet de contexte demeure sur cet ensemble, $F(1, 39) = 30.49, p = .0001$, avec une significativité qui persiste pour toutes les analyses concernant ce facteur et portant sur les groupes deux à deux.

La comparaison entre les enfants dyslexiques avec trouble phonologique et les enfants appariés en âge lexique ne montre pas non plus de différence pour la vitesse de réponse, malgré la différence d'âge réel entre ces groupes, $F(1, 26) < 1$. L'absence d'interaction Catégorie X Champ X Groupe, $F(1, 26) < 1$, traduit le fait que les dyslexiques avec trouble phonologique, comme les enfants normo-lecteurs plus jeunes appariés en âge lexique, ne présentent aucune dominance hémisphérique pour aucune des catégories. L'absence d'interaction Catégorie X Champ X Niveau sur l'ensemble des deux groupes, $F(1, 26) < 1$, et le fait de ne pas observer de modification de cette interaction selon le groupe (Catégorie X Champ X Niveau X Groupe, $F(1, 26) < 1$) n'apporte pas d'information particulière. L'observation de la Figure 67 montre simplement que le groupe de dyslexiques avec trouble phonologique se caractérise par la faible dominance de l'HG pour les lettres traitées au niveau local, aspect qui les distinguait des dyslexiques sans

trouble phonologique dans l'analyse comparant les deux groupes, et qui les distingue aussi du groupe contrôle pourtant plus jeune.

Lorsque les enfants dyslexiques avec trouble phonologique sont comparés aux enfants appariés en âge chronologique, nous observons qu'ils ne diffèrent pas non plus significativement pour la vitesse de réponse, $F(1, 26) < 1$. Ici encore, nous n'observons pas d'interaction Catégorie X Champ X Niveau sur les données de l'ensemble des deux groupes, $F(1, 26) < 1$, ni d'interaction Catégorie X Champ X Niveau X Groupe, $F(1, 26) < 1$. Cette analyse n'apporte donc pas d'indication majeure à propos d'une modulation particulière de la dominance hémisphérique par la catégorie sur le traitement des niveaux chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, mais il se trouve que celle-ci n'est pas non plus très marquée dans le groupe d'enfants contrôles appariés en âge chronologique. Nous pouvons donc dire que cette épreuve ne permet pas de distinguer fortement ce groupe d'enfants dyslexiques des enfants contrôles, tout au moins en analysant seulement les temps de réponse. Nous allons voir que, dans le cas des enfants dyslexiques sans trouble phonologique, la cumulation des données avec les enfants contrôles appariés en âge réel (mais pas avec les enfants contrôles plus jeunes appariés en âge lexique) fera émerger un effet significatif de l'interaction Catégorie X Niveau X Groupe sur l'ensemble, témoignant d'une meilleure maturité de ce type d'enfants dyslexiques à l'égard de la modulation des dominances hémisphériques exercées par les catégories sur les niveaux de traitement.

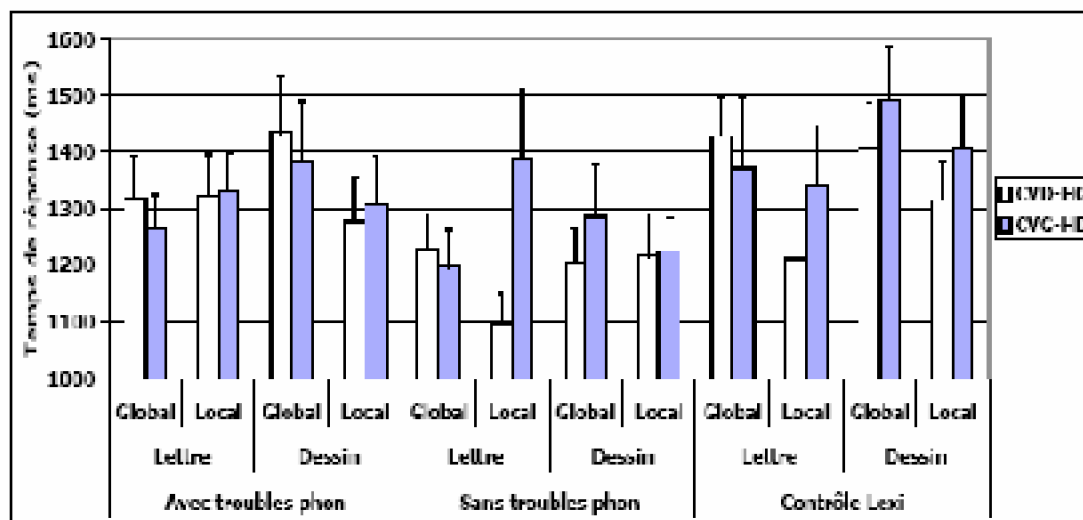


Figure 67. Temps de réponses moyens et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques et les enfants contrôles en âge lexique.

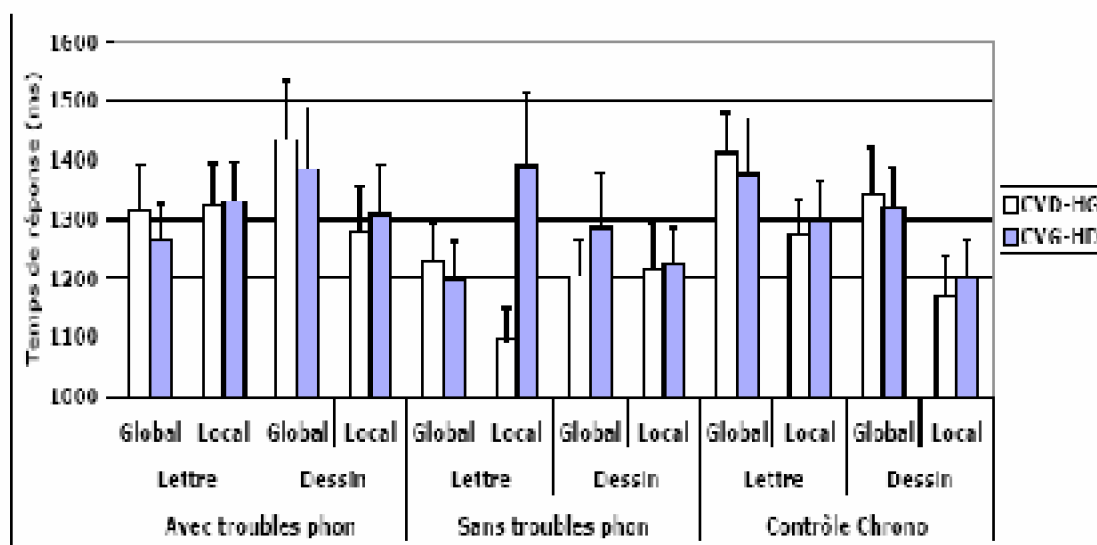


Figure 68. Temps de réponses et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques et les enfants contrôles en âge chronologique.

L'analyse qui porte sur les enfants dyslexiques sans trouble phonologique et les enfants contrôles pour l'âge lexique ne fait pas ressortir de différence générale de vitesse de réponse entre les groupes, $F(1, 26) = 2.57, p = .12$. L'interaction Catégorie X Champ X Groupe n'est pas, là non plus, significative, $F(1, 26) = 1.33, p = .26$. Rappelons tout de même que, dans le cas des dyslexiques sans trouble phonologique, nous avons relevé un avantage de l'HG significatif pour le traitement des lettres (voir Figure 67), alors que chez les enfants normo-lecteurs plus jeunes appariés en niveau de lecture aucune dominance hémisphérique n'apparaît significativement pour aucune catégorie. Dans le cas des enfants dyslexiques sans trouble phonologique, cet avantage de l'HG pour les lettres est en fait assez complexe, puisque l'interaction Catégorie X Champ X Niveau est, nous l'avons vu, significative pour leur groupe, et c'est sur ce point que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent un profil plus mature que celui des enfants dyslexiques avec trouble phonologique et des enfants normo-lecteurs plus jeunes appariés en niveau de lecture : ils sont les seuls de ces trois groupes chez qui la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux est modulée par la catégorie. Cela reflète, pour cet aspect, la maturité de leur profil. En effet, la cumulation des données des enfants dyslexiques avec trouble phonologique et des enfants normo-lecteurs plus jeunes appariés en âge lexique ne donne pas lieu à une interaction Catégorie X Niveau X Champ significative : la dominance de l'HG pour le seul traitement local des lettres chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique ne suffit pas à compenser la faible dominance hémisphérique selon les catégories chez les enfants plus jeunes. Par contre, la cumulation des données des dyslexiques sans trouble phonologique avec celle des enfants appariés cette fois en âge chronologique fait ressortir une interaction Catégorie X Niveau X Champ tout à fait significative, $F(1, 26) = 4.31, p = .048$. Cela peut constituer un argument, certes assez indirect, pour dire que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent, pour ce qui est de la modulation de la dominance

hémisphérique pour le traitement des niveaux par les catégories, des effets qui les rapprochent davantage des enfants normo-lecteurs de leur âge, que des enfants normo-lecteurs plus jeunes. L'examen du graphique montre même que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique que nous avons testés présentent des effets plus marqués de modulation des asymétries hémisphériques par les catégories sur le traitement des niveaux, que ceux des enfants normo-lecteurs de même âge réel (la configuration de leurs résultats se rapproche davantage, à cet égard, de celle des adultes), mais cette différence ne suffit pas à faire disparaître l'interaction Catégorie X Niveau X Champ lorsqu'elle est calculée à partir de ces deux groupes. Comme l'illustre la Figure 68, le groupe d'enfants appariés pour l'âge chronologique ne présente pas encore de véritable dominance de l'HG pour le traitement local des lettres, alors que cet effet est vraiment présent chez les dyslexiques sans trouble phonologique ; de plus, chez ces dyslexiques, l'avantage de l'HG pour le traitement local des dessins est déjà plus réduit que pour celui des lettres, ce qui n'est pas encore vrai pour les enfants appariés en âge lexique, et pas vraiment non plus pour enfants appariés en âge réel : cela constitue des indices d'une absence de retard, voire même d'une certaine précocité des enfants dyslexiques sans trouble phonologique quant à la mise en place d'une modulation exercée par les catégories sur les dominances hémisphériques pour traiter les niveaux. En bref, cette analyse apporte quelques données conformes à l'idée selon laquelle, sur ce point, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique ne présentent pas de déficit, ni de retard, par rapport à la mise en place du profil normal, contrairement aux enfants dyslexiques avec trouble phonologique, car l'influence du contenu directement linguistique ou non du matériel est prise en compte de manière typique chez les dyslexiques dépourvus de trouble phonologique.

Pour ce qui est des **analyses sur les pourcentages d'erreurs**, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique fournissent des réponses plus exactes que les enfants appariés en âge lexique, mais plus jeunes en âge réel (7.29% d'erreurs contre 12.57%). Il n'y a pas d'interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe, $F(1, 26) < 1$, et le profil des résultats sur ce point est assez proche dans les deux groupes, comme le montre Figure 7 (pour le traitement local, un petit avantage de l'HG pour les lettres, et pas pour les dessins, dans les deux groupes) ; bien que concordants, les effets dans chaque groupe sont néanmoins trop faibles pour que leur cumulation produise une interaction Catégorie X Niveau X Champ, $F(1, 26) = 1.07$, $p = .31$. Par contre, ce groupe d'enfants dyslexiques a, pour ce qui est de ces effets sur les taux d'erreurs, des résultats plus proches de ceux des enfants de même âge chronologique. Il n'y a pas de différence générale de l'exactitude entre ces deux groupes, $F(1, 26) < 1$, et l'interaction Catégorie X Niveau X Champ est significative quand leurs données sont cumulées, $F(1, 26) = 8.11$, $p = .009$. De plus, il n'y a pas d'interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe. La cumulation des données de ces deux groupes de même âge réel donne lieu à un simple renforcement de phénomènes déjà observés chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique étudiés seuls : au niveau local, la dominance de l'HG pour le traitement des lettres devient alors significative, $F(1, 26) = 8.93$, $p = .006$, la tendance à l'avantage de l'HD pour les petits dessins demeure, de même que la tendance à la dominance de l'HG pour le traitement des dessins au niveau global. En bref, concernant la modulation exercée par les catégories sur les dominances hémisphériques pour les traitements

global et local, les enfants dyslexiques présentent un profil conforme à celui des enfants de leur âge chronologique.

Enfin et surtout, nous allons voir qu'il n'en est pas de même pour les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique majeur. Tout d'abord, contrairement aux dyslexiques sans trouble phonologique, les enfants relevant de ce type de dyslexie ne sont pas significativement plus exacts dans leurs réponses que les enfants appariés en âge lexique et donc nettement plus jeunes, $F(1, 26) = 1.58$, $p = .22$ (9.08% d'erreurs chez les dyslexiques avec trouble phonologique et 12.57% chez les enfants appariés en âge lexique). Les deux groupes ne présentent pas d'effets suffisamment forts ni homogènes pour que la cumulation de leurs données produise une interaction Catégorie X Niveau X Champ, $F(1, 26) < 1$, ni d'ailleurs une interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe, $F(1, 26) < 1$. L'observation de la Figure 7 montre tout de même un petit indice de disparité : au niveau local, ces dyslexiques traitent mieux l'information plus directement adressée à l'HG pour les deux catégories, alors que les enfants appariés en âge lexique, malgré leur jeune âge, traitent déjà mieux le niveau local avec l'HG seulement dans le cas des lettres.

Il ne s'agit là que de remarques issues de la seule observation des Figures, mais il se trouve que ce petit indice de déficit (ou retard) de mise en place de mécanismes de modulations de l'asymétrie hémisphérique des traitements global/local par les catégories se vérifie plus clairement dans la comparaison avec le groupe contrôle de même âge réel. Les enfants dyslexiques phonologiques ne présentent pas avec ce groupe de différence générale quant à la précision des réponses, $F(1, 26) < 1$, mais nous relevons une interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe, $F(1, 26) = 4.77$, $p = .038$. Comme l'illustre la Figure 70, pour le traitement du niveau local, ces deux groupes présentent des profils de performances bien différents. Les enfants du groupe contrôle pour l'âge chronologique présentent une claire inversion de la dominance hémisphérique pour le traitement de ce niveau selon la catégorie, avec une dominance de l'HG pour le traitement des petites lettres, $F(1, 26) = 11.00$, $p = .006$, mais une dominance de l'HD pour le traitement des petits dessins d'objets, $F(1, 26) = 4.89$, $p = .046$. Par contre, les enfants dyslexiques phonologiques tendent à traiter l'information locale avec plus de précision en CVD-HG pour l'une comme pour l'autre catégorie. En bref, cette interaction Catégorie X Niveau X Champ X Groupe, significative sur les taux d'erreurs, et les phénomènes sur lesquels elle s'appuie, mettent en évidence une particularité des enfants présentant une dyslexie de type phonologique : ils ne présentent pas de signe de prise en compte de la catégorie du contenu de l'information dans les stimuli hiérarchisés, pour l'engagement de mécanismes latéralisés. Il se peut que cela soit lié à une caractéristique plus générale, qui consisterait en une anomalie concernant la dominance hémisphérique pour le traitement des catégories lettres et dessins d'objets ; c'est l'une des hypothèses qui motive la réalisation de la dernière épreuve (Expérience 8).

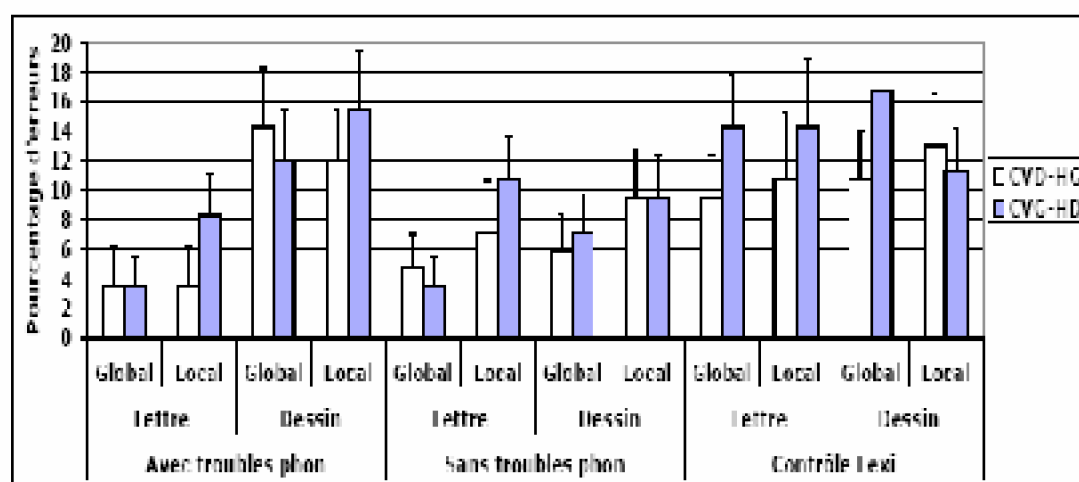


Figure 69. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques et les enfants contrôles en âge lexique.

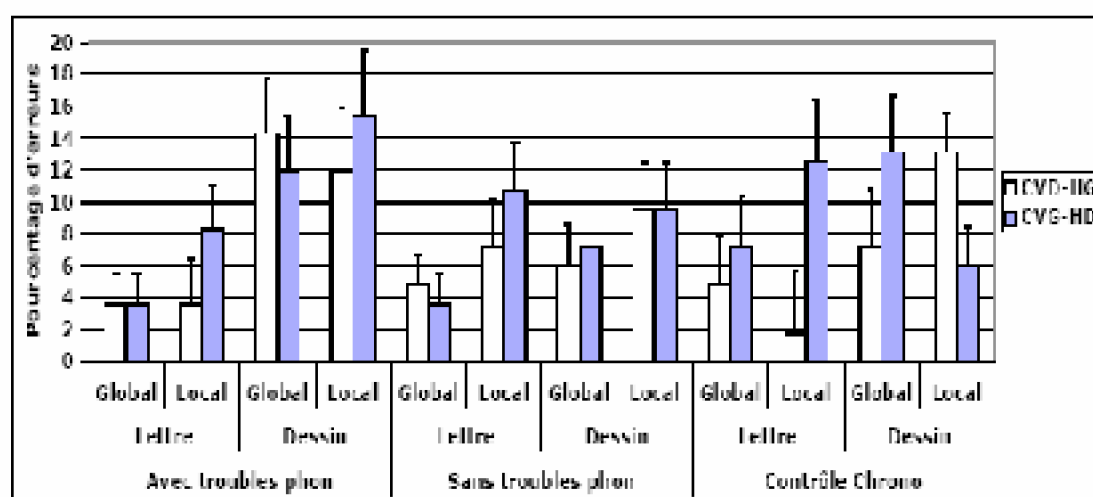


Figure 70. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le champ, la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques et les enfants contrôles en âge chronologique

3. Discussion

L'objectif de cette expérience était de tester si la dyslexie développementale associée à un trouble phonologique majeur se caractérise, par rapport à la dyslexie sans trouble phonologique, par une anomalie de la spécialisation hémisphérique pour le traitement de catégories de stimuli visuels linguistiques ou non, et par une absence de modulation des asymétries hémisphériques classiques pour le traitement global et local par de telles catégories.

L'absence de différence entre les performances globales des deux groupes d'enfants dyslexiques, tant pour la rapidité de réponse que pour l'exactitude, encourage à

rechercher entre eux de telles différences qualitatives quant à leur façon de traiter des stimuli visuels complexes. De même, l'absence de différence de vitesse de réponse entre ces enfants dyslexiques et les deux groupes contrôles encourage les comparaisons avec les groupes appariés en âge lexique et en âge chronologique.

LIMITES DE L'ASYMÉTRIE HÉMISPHERIQUE POUR LES CATÉGORIES LETTRES ET DESSINS CHEZ LES ENFANTS DYSLEXIQUES AVEC TROUBLE PHONOLOGIQUE

Concernant l'Hypothèse 4a, nous observons quelques indices allant dans le sens de nos attentes, mais ceux-ci sont à interpréter avec prudence car issus d'interactions non significatives. Si l'effet du champ visuel pour l'une et l'autre catégories était vraiment radicalement différent dans chaque groupe, nous devrions en effet observer une interaction Catégorie X Champ X Groupe, mais celle-ci n'atteint pas le seuil de significativité dans cette expérience. Si les effets sont statistiquement faibles, l'observation de la configuration des résultats fait tout de même ressortir quelques aspects allant dans le sens de notre attente.

En effet, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent un profil de dominance hémisphérique normale concernant le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet, puisqu'ils répondent significativement plus vite pour les lettres hiérarchisées adressées plus directement à l'HG qu'à l'HD : cela témoigne d'un avantage de l'HG spécifique aux lettres, car il est non systématique, le champ visuel n'exerçant pas d'influence significative pour les dessins d'objets hiérarchisés. Ce profil de résultats est d'autant plus conforme à celui attendu pour les enfants dépourvus de déficit phonologique, qu'il n'est pas contredit par la configuration des données en terme d'exactitude.

En revanche, chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique, nous ne relevons aucun effet du champ visuel de présentation, que ce soit sur la vitesse ou l'exactitude de réponse. L'analyse des TR ne témoigne d'aucune spécialisation hémisphérique relative aux catégories Lettre et Dessin d'objet chez ces enfants, ce qui les distingue du groupe de dyslexiques sans trouble phonologique caractérisés par une dominance significative de l'HG pour les lettres. De plus, nous remarquons que ces enfants dyslexiques se distinguent aussi de ceux qui n'ont pas de trouble phonologique par une difficulté avec les stimuli alphabétiques lorsqu'il faut les traiter au niveau local : ils semblent avoir des difficultés à développer une expertise particulière pour traiter les lettres en tant que détails : en cela, ils se distinguent de la prédiction faite par l'Hypothèse 3c pour les enfants normo-lecteurs.

En bref, cette expérience apporte quelques indices en faveur de l'Hypothèse 4a, puisque rien n'indique l'établissement d'une spécialisation hémisphérique gauche pour le traitement du matériel alphabétique chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologiques, alors que des enfants également dyslexiques, avec des difficultés de lecture de même intensité, mais sans trouble phonologique présentent cette spécialisation. L'Expérience 8 testera à nouveau ce point.

LIMITES DE LA MODULATION EXERCÉE PAR LES CATÉGORIES SUR LA DOMINANCE

**HÉMISPHERIQUE POUR TRAITER LES NIVEAUX GLOBAL ET LOCAL CHEZ LES ENFANTS
DYSLEXIQUES AVEC TROUBLE PHONOLOGIQUE**

Les particularités des enfants dyslexiques avec trouble phonologique concernant la dominance hémisphérique pour les catégories se manifestent plus clairement, et de manière statistiquement significative, lorsque l'on s'intéresse à la modulation que ces catégories exercent sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local. Cela apporte non seulement des arguments directement favorables à l'Hypothèse 4b, mais aussi, indirectement, des indications concordantes avec l'Hypothèse 4a.

A cet égard, le résultat le plus parlant est l'interaction significative Catégorie X Niveau X Champ X Dyslexie, significative sur les latences. Elle traduit le fait qu'une modulation est exercée par la catégorie des stimuli sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux dans le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique, mais pas dans celui des dyslexiques présentant un important déficit phonologique. Conformément à l'Hypothèse 4b, dans le cas des enfants dyslexiques sans trouble phonologique, la dominance hémisphérique pour le niveau local n'est donc pas seulement déterminée par la latéralisation des dominances hémisphériques des mécanismes spécialisés pour certains niveaux d'analyse. En particulier, comme chez les sujets adultes bons lecteurs, et de façon encore plus nette que chez les enfants contrôles pour l'âge lexique ou même les enfants contrôles pour l'âge chronologique, le traitement du niveau local ne fait pas l'objet d'une dominance systématique de l'HG, et la dominance hémisphérique est, à ce niveau, plus directement déterminée par la catégorie du matériel : cela se traduit par une dominance de l'HG seulement pour les petites lettres et non pour les petits dessins d'objets. Les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent donc sur ce point un profil très mature. La configuration des résultats étant similaire sur les taux d'erreurs, il n'y a pas d'échange rapidité-exactitude, ce qui renforce l'impact de ces données. Pour reprendre les termes de l'interprétation proposée par Fink et ses collègues (1997b), il semble que, dans le cas des enfants dyslexiques sans trouble phonologique, un processus de haut niveau se soit mis en place pour prédisposer les mécanismes sous-tendus par l'hémisphère le plus compétent pour chaque catégorie à s'engager massivement dans l'analyse locale, sans doute pour compenser la vulnérabilité potentielle du traitement à ce niveau.

De plus, chez ces enfants dyslexiques dépourvus de trouble phonologique, la configuration des asymétries hémisphériques pour le traitement du niveau global est conforme aux résultats publiés par ces Fink et ses collègues (1996, 1997b) à partir de l'observation de la latéralisation d'activations cérébrales : comme eux, nous observons une inversion de la dominance hémisphérique pour le traitement global selon la catégorie du matériel, avec une dominance de l'HD pour les grandes lettres (l'HD étant censé demeurer le plus disponible pour ce traitement, compte tenu de l'investissement de l'HG dans le traitement local des lettres) et une dominance de l'HG pour les grands dessins d'objets (l'HG étant censé rester plus disponible pour ce traitement, compte tenu de l'investissement de l'HD dans le traitement local des lettres). Ces différences au niveau global ne sont pas significatives et la prudence s'impose pour tirer des conclusions, mais comme pour les phénomènes observés au niveau local, le fait que ces différences aillent

dans le même sens sur les pourcentages d'erreurs encourage tout de même à les prendre en considération. Nous avons aussi prédit, d'une manière générale (Hypothèse 1e), que la modulation de la dominance hémisphérique par la catégorie des stimuli pour le traitement global pourrait être moins marquée dans les données, puisqu'elle ne résulte qu'indirectement de l'engagement d'un processus visant essentiellement à optimiser le traitement au niveau des détails.

Alors que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent un profil normal, voire en avance, quant à la modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux, les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique majeur sont à cet égard bien différents. Contrairement aux autres, ces derniers ne présentent pas d'indice de modulation de la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux selon la catégorie, l'interaction Catégorie X Niveau X Champ n'étant significative, dans ce groupe, sur aucune variable dépendante. Pour les temps de réponse, ils se distinguent à la fois des autres dyslexiques et des enfants contrôles, essentiellement par une absence de véritable dominance de l'HG pour traiter le niveau local, cette dominance étant même particulièrement faible pour les lettres hiérarchisées. De plus, sur les taux d'erreurs ils présentent cette fois une dominance hémisphérique gauche au niveau local mais elle se manifeste pour les dessins d'objets comme pour les lettres, alors qu'une dominance de l'HD pour les dessins au niveau local se dessine déjà chez les enfants appariés en âge lexique (mais pourtant plus jeunes) et est significative chez les enfants normo-lecteurs appariés en âge réel. A cet égard, l'interaction significative Catégorie X Niveau X Champ X Groupe les distingue clairement du profil des enfants dyslexiques sans trouble phonologique et de celui des enfants normo-lecteurs de leur âge.

La configuration des données des enfants dyslexiques avec trouble phonologique est donc atypique, même par rapport au groupe d'enfants normo-lecteurs plus jeunes en âge réel, et rien n'indique chez eux une quelconque prise en compte du contenu linguistique des stimuli alphabétiques pour moduler le traitement des niveaux. Cela s'explique peut-être par une faible spécialisation hémisphérique pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet, mais comme nous n'avons recueilli que de légers indices sur point dans l'Expérience 7, l'un des objectifs de l'Expérience 8 sera de tester à nouveau cet aspect.

Expérience 8

Cette expérience est l'épreuve que nous avons proposée aux enfants normo-lecteurs dans l'Expérience 6 du Chapitre 2. Elle demande de sélectionner un même niveau (global ou local) pendant un bloc complet (paradigme d'attention focalisée) et chaque bloc présente, comme dans l'Expérience 6, soit des lettres hiérarchisées, soit des dessins d'objets hiérarchisés, ce qui élimine toute incertitude quant à la catégorie des stimuli présentés. Alors qu'il n'a pas été possible, dans le cadre scolaire, de proposer l'épreuve complète aux enfants normo-lecteurs, les enfants dyslexiques l'ont réalisée entièrement,

avec des pauses importantes, lors d'une journée de bilan effectuée à l'hôpital. Cette expérience permettra tout d'abord de tester à nouveau l'**Hypothèse opérationnelle 4a**, à propos d'une asymétrie hémisphérique atypique associée au traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet, seulement chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique majeur. Outre l'absence de cette anomalie, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique devraient se caractériser par un déficit visuo-attentionnel particulier, quant à lui moins visible chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique. Il s'agirait d'une attractivité difficile à réprimer pour les détails, dans une situation requérant pourtant de s'intéresser à la forme globale d'un objet visuel complexe. Cela pourrait traduire le déficit d'un mécanisme d'inhibition particulier, spécialisé dans l'inhibition des informations locales (**Hypothèse opérationnelle 4c**). Il est possible d'imaginer qu'un tel déficit puisse nuire à l'apprentissage de la lecture, activité dans laquelle il est important non seulement d'identifier correctement les éléments au niveau local du mot (les lettres), mais aussi de coder précisément leur emplacement dans le mot, ce qui implique la prise en compte de l'ensemble du mot dans sa globalité. Enfin, pour se permettre de dire qu'il s'agit d'un trouble relevant véritablement de l'attention visuo-spatiale, et non du seul domaine de l'écrit, il convient de vérifier qu'il se manifeste aussi bien lors du traitement de lettres hiérarchisées que dans celui de dessins d'objets hiérarchisés (**Hypothèse opérationnelle 4d**). Pour l'Expérience 8, les hypothèses opérationnelles sont donc les suivantes.

Hypothèse opérationnelle 4c : les enfants dyslexiques avec trouble phonologique majeur devraient, comme les enfants normo-lecteurs, présenter une asymétrie de l'interférence selon le niveau dont celle-ci est issue dans le stimulus hiérarchisé : lorsqu'ils doivent se focaliser sur un niveau d'analyse, ils sont davantage perturbés par une information concurrente située à l'autre niveau si ce niveau est global plutôt que local. Par contre, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique majeur devraient être aussi fortement perturbés par l'interférence issue du niveau local que par celle qui est issue du niveau global ; il se peut même que leurs performances soient davantage amoindries par l'interférence venant de l'information locale que de l'information globale.

Hypothèse opérationnelle 4d : chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique majeur, l'anomalie visuo-attentionnelle consistant à être trop perturbé par l'information contenue au niveau local de stimuli hiérarchisés devrait être observée aussi bien pour le traitement de lettres hiérarchisées que pour celui de dessins d'objets hiérarchisés.

1. Méthode

1.1. Participants

Vingt-huit enfants dyslexiques, dont 18 garçons et 10 filles (moyenne d'âge = 11.3 ans et écart-type = 1.7) ont passé cette expérience. Ils ont été sélectionnés de façon à constituer 14 couples appariés en niveau de lecture, un des enfants de chaque couple présentant des troubles phonologiques majeurs et l'autre non. Par ailleurs, les deux groupes d'enfants caractérisés par leur type de dyslexie sont appariés globalement pour l'âge

chronologique (voir tableau d'appariement en annexe n° 2). Ces enfants ont été recrutés dans deux Centres de Référence des troubles du langage : le Service de Pédiatrie du Centre Hospitalo-Universitaire « La Tronche » à Grenoble et le Service de Neurologie Pédiatrique de l'Hôpital Debrousse à Lyon. Les critères d'inclusion et d'exclusion sont vérifiés lors de consultations neuropédiatriques, neuropsychologiques et/ou orthophoniques. Pour cette Expérience 8, une partie des enfants a été testée avec l'aide d'une orthophoniste, Hagar Lévy-Sebbag (Lévy-Sebbag, 2004). Ces critères sont les mêmes que ceux ayant permis de sélectionner les enfants dyslexiques pour l'Expérience 7. Ces deux groupes d'enfants dyslexiques ont été appariés à deux groupes contrôles, l'un apparié selon l'âge lexique, l'autre apparié selon l'âge chronologique. Ces enfants contrôles ont été testés dans des écoles primaires de l'agglomération lyonnaise avec l'accord du chef d'établissement, celui de l'Inspection Académique, l'accord écrit des parents et, bien sûr, l'assentiment des enseignants et des élèves. Étant donné que chaque participant n'a réalisé l'épreuve que sur les lettres ou que sur les dessins, les enfants dyslexiques ont été appariés selon le principe illustré dans le Tableau 4 . Les enfants contrôles ont un niveau de lecture normal pour leur âge, tel qu'évalué avec le test de l'Alouette (Lefavrais, 1976) . Tous les participants (patients et contrôles) sont droitiers (plus de 80% de bonnes réponses désignant la main droite au test d'Edinburgh), ont une vue normale ou corrigée et ne présentent pas de troubles psychologiques ni psychiatriques avérés.

Enfants Dyslexiques (N = 28)		Enfants Contrôles (N = 56)	
14 dyslexiques avec trouble phonologique majeur	14 dyslexiques sans trouble phonologique majeur	Contrôle pour l'âge lexique	Contrôle pour l'âge chronologique
Bloc lettre locale Bloc lettre globale	Bloc lettre locale Bloc lettre globale	14 enfants contrôles appariés en âge lexique	14 enfants contrôles appariés en âge chronologique
Bloc dessin local Bloc dessin global	Bloc dessin local Bloc dessin global	14 autres enfants contrôles appariés en âge lexique	14 autres enfants contrôles appariés en âge chronologique

Tableau 4. Répartition des enfants dyslexiques et des contrôles normo-lecteurs selon les conditions expérimentales dans l'Expérience 8.

1.2. Stimuli

Les stimuli sont identiques à ceux de l'Expérience 6.

1.3. Matériel et procédure

Le matériel et la procédure sont identiques à ceux de l'Expérience 6 proposés aux enfants dans le Chapitre II des normaux lecteurs.

2. Résultats

Nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées avec 4 facteurs intra-individuels, à savoir le niveau (global, local), le champ visuel de présentation

(CVD-HG, CVG-HD), l'interférence (condition contrôle, et condition piège), et le facteur inter-individuel dyslexie (enfants dyslexiques avec trouble phonologique, enfants dyslexiques sans trouble phonologique), sur les temps de réponse aux décisions exactes (TR) et sur les pourcentages d'erreurs. Nous avons exclu de cette analyse les temps déviants (supérieurs ou inférieurs à plus ou moins deux écart-types de la moyenne de la condition concernée). Étant donné que certains effets diffèrent selon le type de dyslexie, comme le prédisent nos hypothèses, des analyses de variance utilisant les mêmes facteurs intra-individuels mais portant séparément sur l'un ou l'autre groupe ont été réalisées, afin de mieux comprendre ces différences. Enfin, des analyses complémentaires, utilisant les mêmes facteurs intra-individuels, ont ensuite été réalisées pour comparer les résultats sur les deux groupes d'enfants dyslexiques et des groupes d'enfants contrôles appariés en âge lexique ou en âge chronologique : pour ces analyses, les facteurs niveau, champ et interférence sont intra-individuels, mais les facteurs groupe et catégorie sont inter-individuels, étant donné que chaque enfant contrôle n'a réalisé l'épreuve que sur une catégorie de stimuli.

L'analyse des TR comparant les deux groupes d'enfants dyslexiques ne fait pas ressortir d'effet du groupe, $F(1, 26) < 1$. En revanche, le niveau exerce une influence sur les TR, $F(1, 26) = 75.28$, $p = .0001$, avec des latences plus courtes au niveau global (855 ms) qu'au niveau local (1058 ms). L'effet du champ est aussi significatif, $F(1, 26) = 20.06$, $p = .0001$, les cibles étant mieux discriminées en CVD-HG (939 ms) qu'en CVG-HD (972 ms). L'interférence exerce également un effet significatif, $F(1, 26) = 27.58$, $p = .0001$, avec des réponses plus lentes en condition piège (978 ms) qu'en condition contrôle (935 ms).

Comme l'illustre la Figure 71, l'interaction Catégorie X Champ X Dyslexie est significative, $F(1, 26) = 5.34$, $p = .029$. Les analyses portant séparément sur les données de chaque groupe montrent que l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des catégories (interaction Catégorie X Champ) ne se manifeste pas de la même manière selon le type de dyslexie. En effet, dans le groupe d'enfants avec trouble phonologique, l'interaction Catégorie X Champ n'est pas significative, ce qui s'explique par une plus grande vitesse de réponse en CVD-HG qu'en CVG-HD pour les lettres, $F(1, 13) = 8.41$, $p = .013$, mais aussi pour les dessins, $F(1, 13) = 22.33$, $p = .0004$. Par contre, dans le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique, l'interaction Catégorie X Champ tend fortement vers la significativité, $F(1, 13) = 4.18$, $p = .062$: comme l'illustre la Figure 71 ces enfants répondent en effet plus vite pour des cibles en CVD-HG lorsqu'il s'agit de lettres, $F(1, 13) = 16.84$, $p = .002$, mais pas lorsqu'il s'agit de dessins, $F(1, 13) = 1.47$, $p = .26$. L'interaction Catégorie X Champ X Dyslexie témoigne donc d'une configuration atypique de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des catégories chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique.

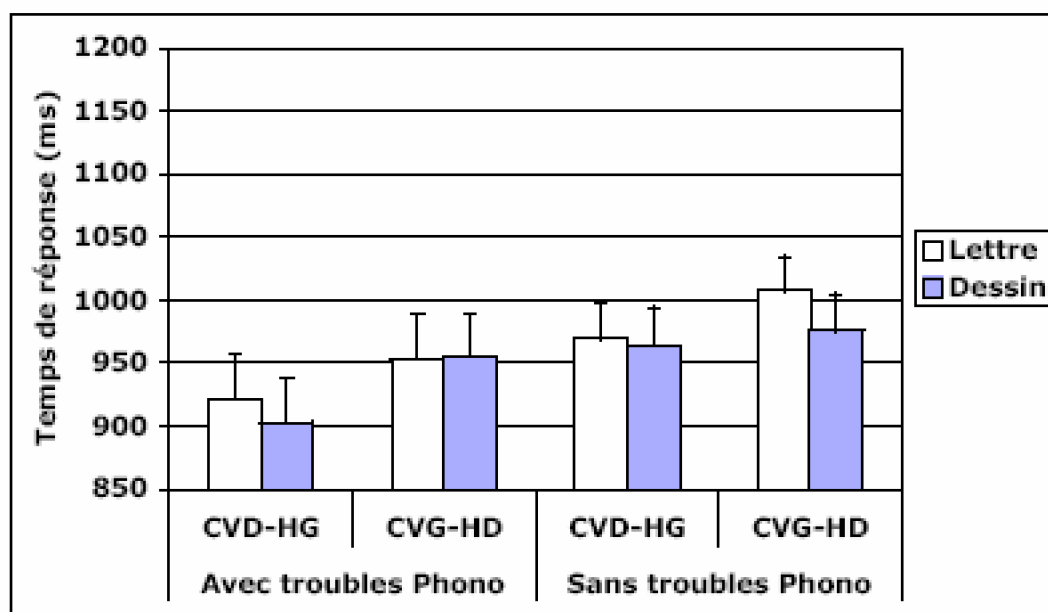


Figure 71. Temps de réponses moyens et erreurs standard selon la catégorie du stimulus et le champ visuel pour les deux groupes d'enfants dyslexiques.

L'interaction Niveau X Interférence X Dyslexie est significative, $F(1, 26) = 4.58$, $p = .042$ (voir Figure 72). L'étude de l'asymétrie de l'interférence, manifestée par l'interaction Interférence X Niveau, sur chaque groupe de dyslexiques nous apprend que celle-ci n'est significative que dans le groupe d'enfants présentant un trouble phonologique, $F(1, 13) = 5.00$, $p = .044$: ils sont en effet perturbés par le piège seulement lorsque celui-ci vient du niveau global (alors que la cible est au niveau local), $F(1, 13) = 15.11$, $p = .002$, et pas lorsque ce piège est issu du niveau local, $F(1, 13) < 1$. Cette configuration de résultats est vérifiée sur les lettres comme sur les dessins. Pour les lettres, l'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 13) = 4.62$, $p = .051$ (quasi significative), s'explique par une forte perturbation par l'interférence issue du niveau global, $F(1, 23) = 10.65$, $p = .006$, alors que les réponses ne sont pas retardées par l'information concurrente au niveau local, $F(1, 13) < 1$. Pour les dessins d'objets, l'interaction Interférence X Niveau n'atteint pas le seuil de significativité, $F(1, 23) = 2.20$, $p = .16$, bien que là encore seul l'interférence issue du niveau global soit significative, $F(1, 23) = 11.40$, $p = .005$. Par contre, dans le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique, il n'y a pas d'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 13) < 1$, ce qui s'explique par une perturbation à la fois en cas d'interférence issue du niveau global, $F(1, 13) = 14.88$, $p = .002$ et en cas d'interférence issue du niveau local, $F(1, 13) = 21.63$, $p = .0005$. Ce phénomène se confirme pour chaque catégorie. En effet, pour les dessins, l'interaction Interférence X Niveau n'est pas significative, $F(1, 13) < 1$, et cela reflète une perturbation par l'interférence issue du niveau local, $F(1, 13) = 15.45$, $p = .002$, comme par celle issue du niveau global, $F(1, 23) = 7.94$, $p = .015$. Il en est de même pour les lettres, avec une absence d'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 13) < 1$, reflétant une perturbation significative par l'interférence issue du niveau local, $F(1, 23) = 21.79$, $p = .0004$, comme par celle venant du niveau global, $F(1, 23) = 18.71$, $p = .0008$.

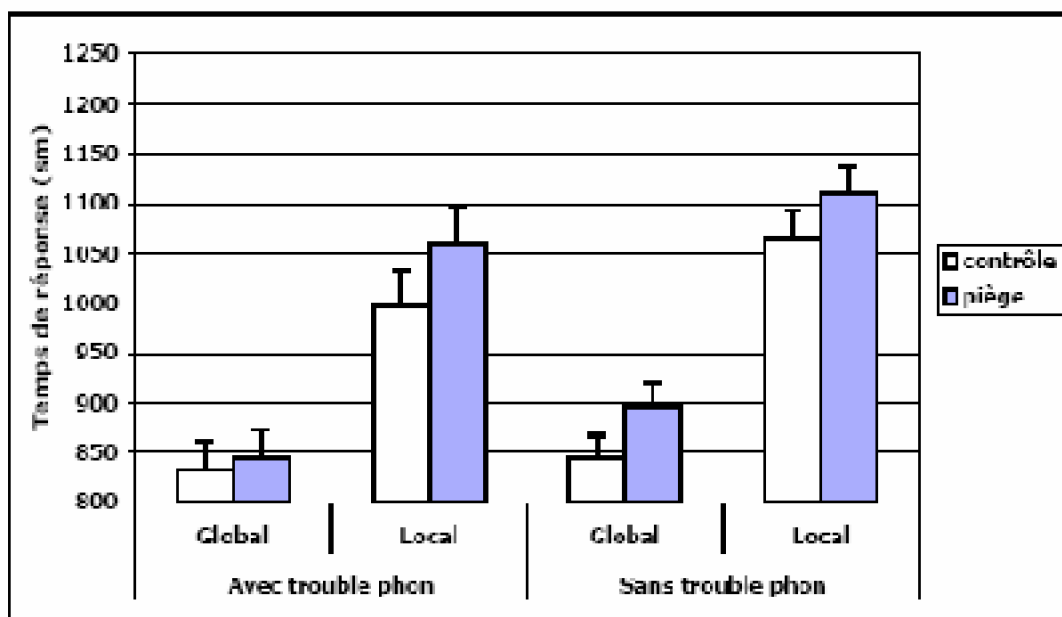


Figure 72. Temps de réponses et erreurs standard pour les deux groupes d'enfants dyslexiques selon le niveau auquel la cible apparaît et la condition introduisant ou non une interférence (piège vs. Contrôle).

L'analyse sur les taux d'erreurs fait ressortir un effet du niveau, $F(1, 26) = 34.76$, $p = .0001$, avec davantage d'erreurs pour le traitement au niveau local (8.76%) qu'au niveau global (4.84%). L'effet du champ est aussi significatif, $F(1, 26) = 4.36$, $p = .047$, avec un avantage en CVD-HG (6.23%) par rapport au CVG-HD (7.38%). L'interférence exerce aussi un effet sur le taux d'erreurs, $F(1, 26) = 8.08$, $p = .009$: ce taux est plus élevé en condition piège (7.6%) qu'en condition contrôle (6.02%). L'interaction Niveau X Dyslexie est significative, $F(1, 26) = 5.21$, $p = .031$ et, comme le montre la Figure 73, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique s'illustrent par leur exactitude particulièrement forte pour le traitement du niveau local : pour ce niveau, les dyslexiques sans trouble phonologique commettent moins d'erreurs que les dyslexiques avec trouble phonologique, de manière significative seulement pour le traitement de ce niveau, $t(1, 26) = 2.02$, $p = .0005$.

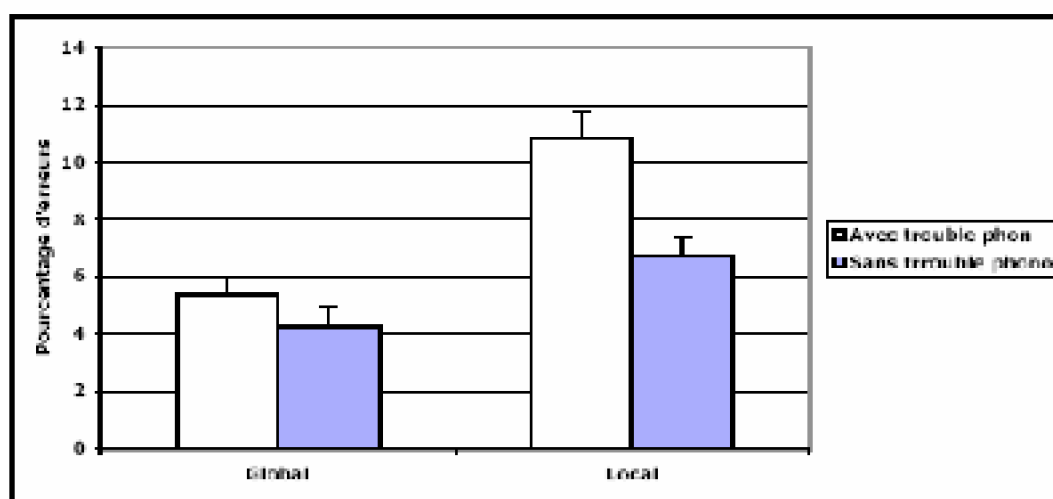


Figure 73. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon le niveau d'apparition de la cible et le groupe d'enfants dyslexiques.

L'interaction Niveau X Interférence X Dyslexie, qui était significative sur les TR, atteint presque le seuil de significativité sur les taux d'erreurs, $F(1, 26) = 4.07$, $p = .054$ (Voir Figure 74). Cela s'explique par le fait que l'interaction Niveau X Interférence n'est significative que dans le groupe de dyslexiques avec trouble phonologique, $F(1, 13) = 4.91$, $p = .045$, et pas dans le groupe de dyslexiques sans trouble phonologique, $F(1, 13) < 1$. Les analyses conduites séparément sur chaque groupe confirment que les erreurs des enfants dyslexiques avec trouble phonologiques augmentent en cas de piège seulement lorsque celui-ci est issu du niveau global, $F(1, 13) = 8.69$, $p = .011$, et non lorsqu'il vient du niveau local, $F(1, 13) < 1$. Si ce profil de résultats ne se différencie pas entre les lettres et les dessins d'objets, il est tout de même plus net sur les lettres. Pour les dessins, rien de significatif n'est observé, alors que pour les lettres, l'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 13) = 9.09$, $p = .010$ s'explique par une perturbation par l'interférence seulement si elle est issue du niveau global, $F(1, 13) = 13.44$, $p = .003$, et non lorsqu'elle vient du niveau local, $F(1, 13) < 1$. Par contre, l'interférence venant de l'un comme de l'autre niveau affecte faiblement l'exactitude des réponses des dyslexiques sans trouble phonologique, et ceci de manière non différente selon le niveau dont le piège est issu, que ce soit pour des lettres ou des dessins d'objets. Signalons simplement que, dans le cas des dessins, l'interaction Interférence X Niveau se rapproche tout de même du seuil, $F(1, 13) = 3.58$, $p = .080$, ce qui s'explique par une interférence elle-même proche du seuil seulement lorsque le piège est issu du niveau local, $F(1, 13) = 4.02$, $p = .066$ et non du niveau global, $F(1, 13) < 1$. L'interprétation de ce dernier phénomène est délicate puisque l'interaction n'est pas tout à fait significative, mais il permet tout de même de préciser qu'il n'y pas, sur ce point, d'échange rapidité-exactitude.

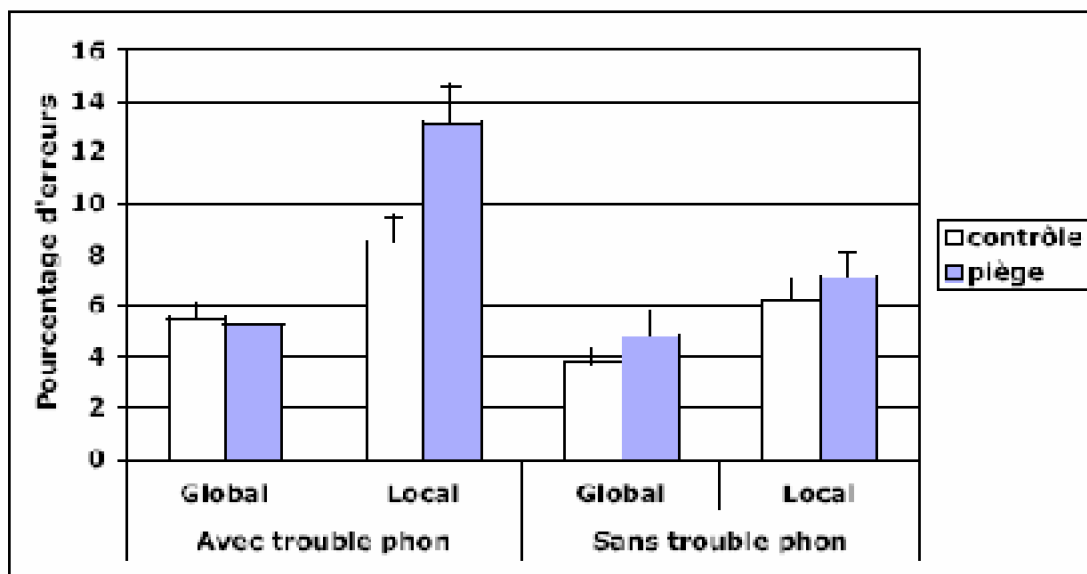


Figure 74. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard pour les deux groupes d'enfants dyslexiques selon le niveau auquel la cible apparaît et la condition introduisant ou non une interférence.

Les analyses prenant en compte les données des groupes d'enfants appariés en âge lexique ou en âge chronologique permettent tout d'abord de vérifier que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique se caractérisent par une anomalie de la sensibilité à l'interférence, qui les distingue non seulement des autres dyslexiques, mais aussi des enfants contrôles.

Dans l'analyse sur les TR comparant les deux groupes de dyslexiques et les enfants appariés en âge chronologique, nous observons tout d'abord un effet du groupe sur les TR,

$F(2, 78) = 13.70, p = .0001$, reflétant la plus grande rapidité du groupe contrôle (moyenne = 747 ms) par rapport à chaque groupe de dyslexiques, que ceux-ci présentent un trouble phonologique (moyenne = 934 ms) ou non (979 ms). Sur l'ensemble des données, l'interaction Interférence X Niveau est significative, $F(1, 78) = 9.84, p = .002$, mais il apparaît surtout que l'asymétrie de l'interférence varie aussi selon le groupe, avec l'interaction Interférence X Niveau X Groupe, $F(2, 78) = 4.33, p = .016$. Nous avons vu, dans les analyses conduites séparément sur chaque groupe de dyslexiques, que l'interaction Interférence X Niveau est significative chez les enfants dyslexiques phonologiques, perturbés seulement par l'interférence issue du niveau global, alors que cette interaction n'est pas significative chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, dont les réponses sont autant ralenties par l'interférence issue de l'un que de l'autre niveau. La présente analyse montre que ce dernier groupe se distingue pour cela non seulement des dyslexiques avec trouble phonologique, mais aussi des enfants normo-lecteurs appariés en âge réel, puisque l'interaction Interférence X Niveau est significative dans ce dernier groupe, $F(1, 26) = 9.22, p = .005$: comme l'illustre la Figure 75, ces enfants, comme les jeunes dyslexiques avec trouble phonologique, sont davantage perturbés par l'interférence venant du niveau global que par celle venant du

niveau local. L'analyse portant sur les taux d'erreurs apporte des éléments concordants avec ce phénomène (voir Figure 76). L'interaction Interférence X Niveau, là aussi globalement significative, $F(1, 78) = 12.99, p = .0006$, interagit elle-même avec le groupe (Interférence X Niveau X Groupe, $F(2, 78) = 3.53, p = .034$). Cela s'explique parce que, nous l'avons vu, l'interaction Interférence X Niveau est non significative chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique alors qu'elle l'est chez les dyslexiques avec trouble phonologique, et la présente analyse montre qu'elle l'est également chez les enfants appariés en âge chronologique, $F(1, 26) = 14.21, p = .0009$: notre groupe de dyslexiques sans trouble phonologique se distingue donc des enfants présentant l'autre forme de dyslexie et des enfants normo-lecteurs de même âge chronologique par une absence d'asymétrie des effets d'interférence.

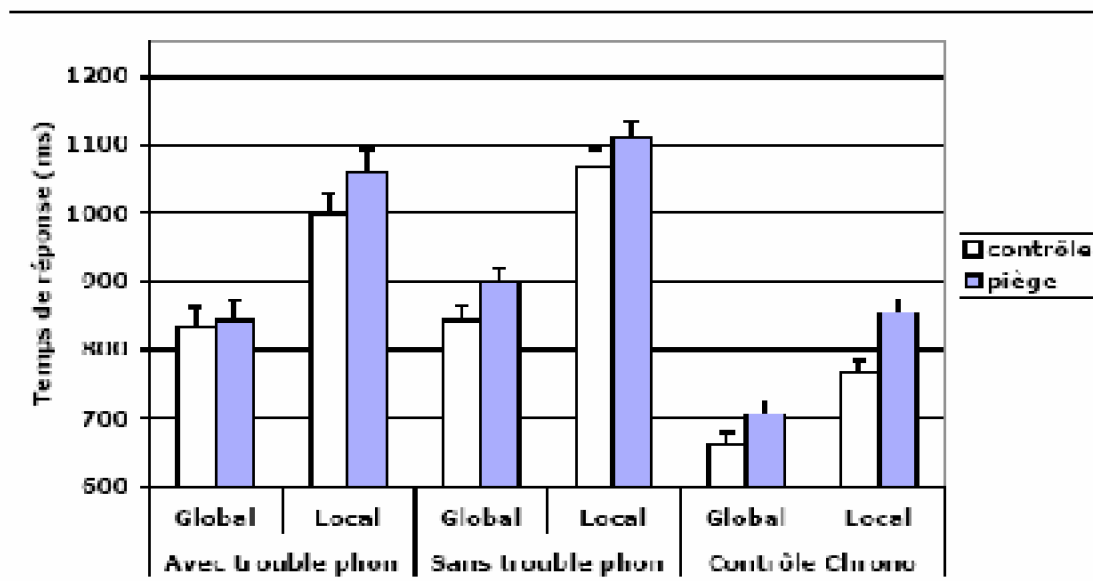


Figure 75. Temps de réponses et erreurs standard selon l'interférence et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec et sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge chronologique (contrôles chrono).

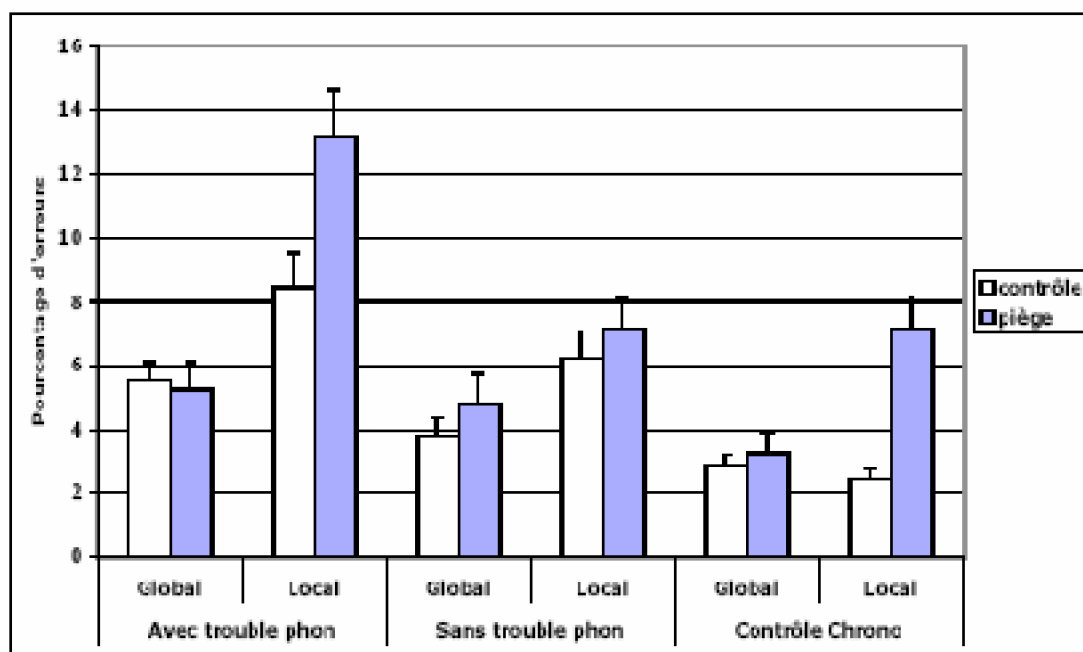


Figure 76. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon l'interférence et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec ou sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge chronologique (contrôle chrono).

L'Expérience 8 n'étant pas une épreuve de lecture, le groupe apparié en âge chronologique semblait a priori offrir le contrôle le plus approprié, compte tenu de l'aspect maturationnel, mais la plus grande lenteur des réponses des deux groupes de patients, accompagnée d'un plus grand nombre d'erreurs (5.50% chez les dyslexiques sans trouble phonologique, 8.11% chez les dyslexiques avec trouble phonologique, mais seulement 3.93% chez les contrôles de même âge chronologique), suggère que la comparaison avec un groupe contrôle d'enfants plus jeunes, mais de même niveau de lecture, est également pertinente. Nous relevons tout de même en ce cas un effet du groupe : les erreurs, plus nombreuses dans le groupe apparié en âge lexicale mais en réalité plus jeunes (11.40%), que chez les dyslexiques avec trouble phonologique (8.11%) ou sans trouble phonologique (5.50%). Comme dans l'analyse précédente, l'asymétrie de l'interférence selon le niveau apparaît sur les TR de l'ensemble des sujets (Interférence X Niveau, $F(1, 78) = 19.16$, $p = .0001$), mais interagit aussi avec le groupe, $F(2, 78) = 8.21$, $p = .0006$ pour l'interaction Interférence X Niveau X Groupe). Dans cette analyse également, cette interaction s'explique parce qu'il n'y a pas d'asymétrie de l'interférence dans le groupe de dyslexiques sans trouble phonologique, alors qu'elle est significative, comme nous l'avons vu, dans le groupe d'enfants dyslexiques avec trouble phonologique, mais aussi dans le groupe apparié en âge lexicale ($F(1, 26) = 23.31$, $p = .0001$ pour l'interaction Interférence X Niveau dans ce groupe). Comme le montre la Figure 77, l'interférence produite par une information concurrente est, dans ce dernier groupe comme chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, davantage perturbante si elle est issue du niveau global que du niveau local. La configuration des résultats sur les taux d'erreurs confirme ce phénomène, avec l'interaction Interférence X Niveau, $F(1, 78)$

= 14.41, $p = .0003$, mais surtout l'interaction Interférence X Niveau X Groupe, $F(1, 78) = 3.88$, $p = .025$. Ici encore, nous le voyons en Figure 78, le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique se distingue du groupe présentant l'autre forme de dyslexie et du groupe apparié en âge lexique par l'absence d'asymétrie de l'effet d'interférence : cette dernière étant relevée dans le groupe contrôle, $F(1, 26) = 13.09$, $p = .003$, chez qui elle traduit comme chez les dyslexiques avec trouble phonologique une plus grande perturbation par la forme globale non pertinente, $F(1, 26) = 45.78$, $p = .0001$, que par les détails à ignorer, $F(1, 26) = 2.72$, $p = .11$.

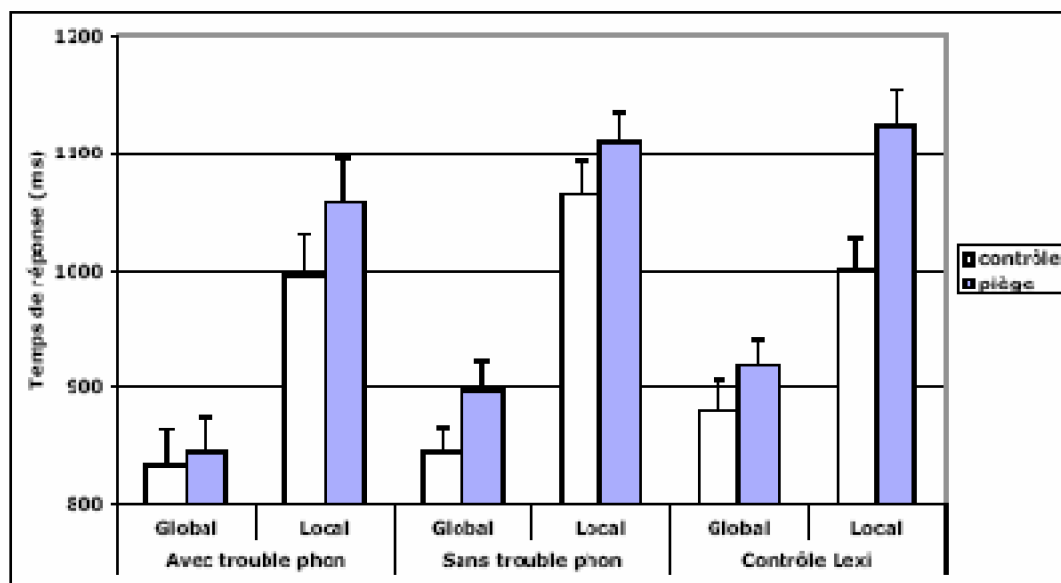


Figure 77. Temps de réponses et erreurs standard selon l'interférence et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec et sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge lexique (contrôles Lexi).

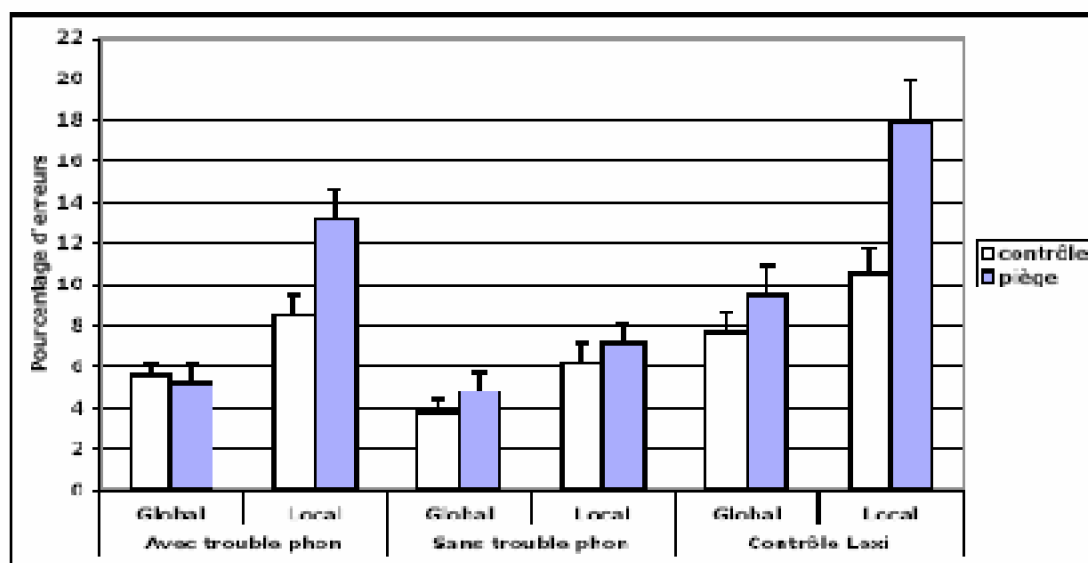


Figure 78. Pourcentages d'erreurs et erreurs standard selon l'interférence et le niveau pour

les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec ou sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge lexique (contrôle Lexi).

Les analyses impliquant les groupes contrôles permettent aussi d'évaluer si le point sur lequel les enfants dyslexiques avec trouble phonologique se distinguent des autres dyslexiques (une anomalie de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet) les distingue aussi des enfants contrôles normo-lecteurs. Etant donnée l'absence de significativité des interactions qui auraient permis de le confirmer, l'interprétation de ces analyses est très délicate et ne permet aucune conclusion. Nous présentons tout de même ce que nous révèlent ces comparaisons, des tendances apparaissant à travers l'examen attentif des graphiques.

Dans l'analyse des TR impliquant le groupe d'enfants normo-lecteurs appariés en âge lexique, l'interaction Champ X Catégorie n'est pas significative et, contrairement à notre attente, l'interaction Champ X Catégorie X groupe n'atteint pas non plus le seuil de significativité, $F(1, 78) = 1.94$, $p = .15$. Rappelons toutefois que les analyses conduites séparément sur les deux groupes d'enfants dyslexiques montraient que l'interaction Champ X Catégorie était absente chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, avec un avantage significatif de l'HG aussi bien pour les lettres que pour les dessins d'objets. Cette interaction était par contre très proche du seuil de significativité dans le groupe de dyslexiques sans trouble phonologique, avec un avantage significatif de l'HG limité aux lettres. Comme l'illustre la Figure 79, le groupe apparié en âge lexique présente une configuration de résultats analogue à ces derniers : bien que l'interaction Champ X Catégorie ne soit pas significative dans ce groupe, $F(1, 26) = 1.54$, $p = .23$, l'indice d'un avantage de l'HG spécifique aux lettres est observable. Sur ce point, le profil des enfants dyslexiques avec trouble phonologique semble donc se distinguer de celui des enfants de même âge lexique, qu'ils soient normo-lecteurs ou dyslexiques sans trouble phonologique.

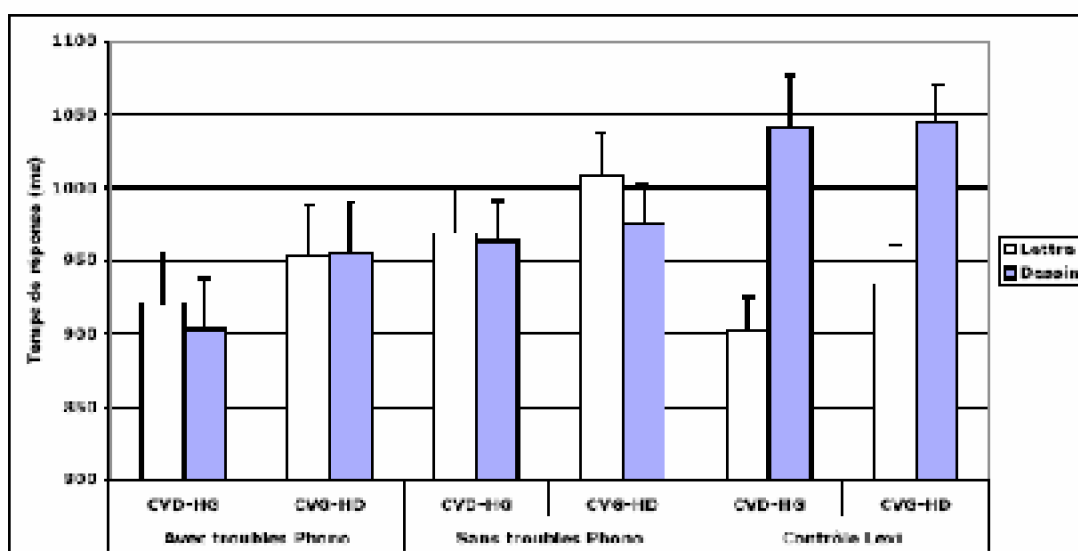


Figure 79. Temps de réponses moyens et erreurs standard selon la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec et sans trouble phonologique) et le

groupe contrôle apparié en âge lexique (contrôle Lexi).

Concernant les pourcentages d'erreurs, les interactions Champ X Catégorie et Champ X Catégorie X Groupe ne ressortent pas ($F < 1$). Cette interaction n'est en fait significative sur aucun des trois groupes, mais cela cache des phénomènes différents, comme le montre la Figure 80. En effet, seul le groupe de dyslexiques avec trouble phonologique présente un avantage de l'HG significatif pour toute l'expérience, $F(1, 26) = 4.65$, $p = .045$, sans que ce facteur champ interagisse avec la catégorie, alors que dans les autres groupes, il n'y a pas d'interaction mais pas non plus d'effet du champ ($F < 1$). Aussi, il est possible de dire que seuls les dyslexiques avec un trouble phonologique ont la caractéristique de présenter un avantage de l'HG à la fois pour les lettres et pour les dessins.

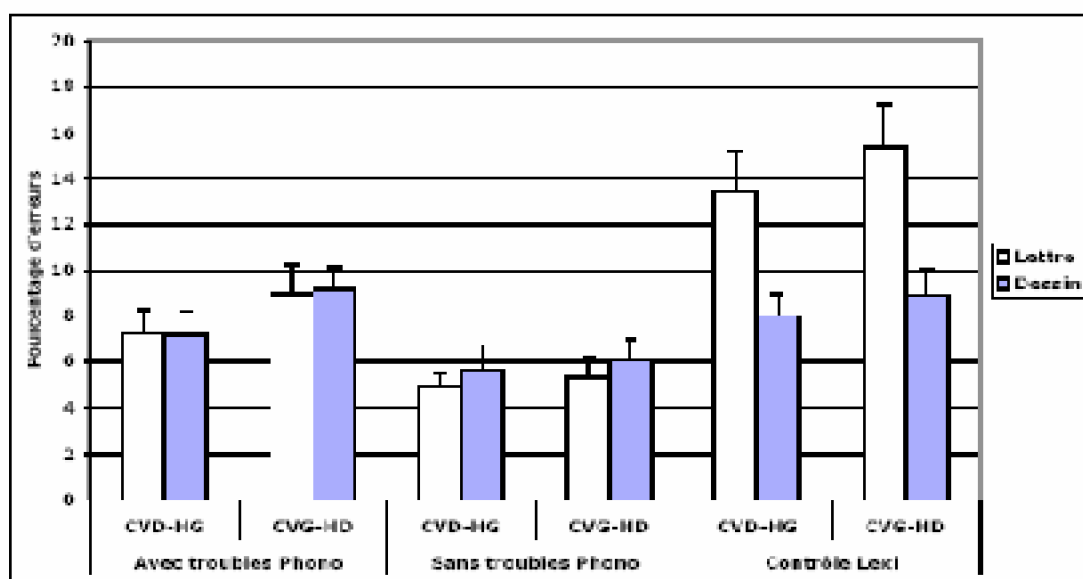


Figure 80. Taux d'erreurs moyens et erreurs standard selon la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec et sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge lexique (contrôle Lexi).

Dans les analyses prenant en compte finalement les enfants appariés en âge chronologique, l'interaction Champs X Catégorie n'est pas significative sur les TR, $F(1, 78) < 1$, et l'interaction Champs X Catégorie X Groupe non plus, $F(1, 78) = 2.04$, $p = .14$. L'observation de la Figure 81 montre simplement que la configuration des données n'est pas contradictoire avec celles que nous venons de décrire à travers la comparaison avec l'autre groupe contrôle : le groupe de dyslexiques avec trouble phonologique s'illustre par un avantage de l'HG particulièrement marqué, $F(1, 26) = 22.07$, $p = .0001$, ceci pour les deux catégories. Pour finir, les résultats sur les taux d'erreurs dans cette analyse qui prend en compte des enfants contrôles pour l'âge chronologique ont la même configuration que ceux impliquant les enfants contrôles pour l'âge lexique (voir Figure 82) : les dyslexiques avec trouble phonologique constituent le seul groupe à présenter un avantage significatif de l'HG, $F(1, 26) = 4.65$, $p = .045$, et l'absence d'interaction Champ X Catégorie est, dans ce cas, interprétable comme la manifestation d'une dominance

hémisphérique gauche indifférenciée pour les lettres et les dessins d'objets.

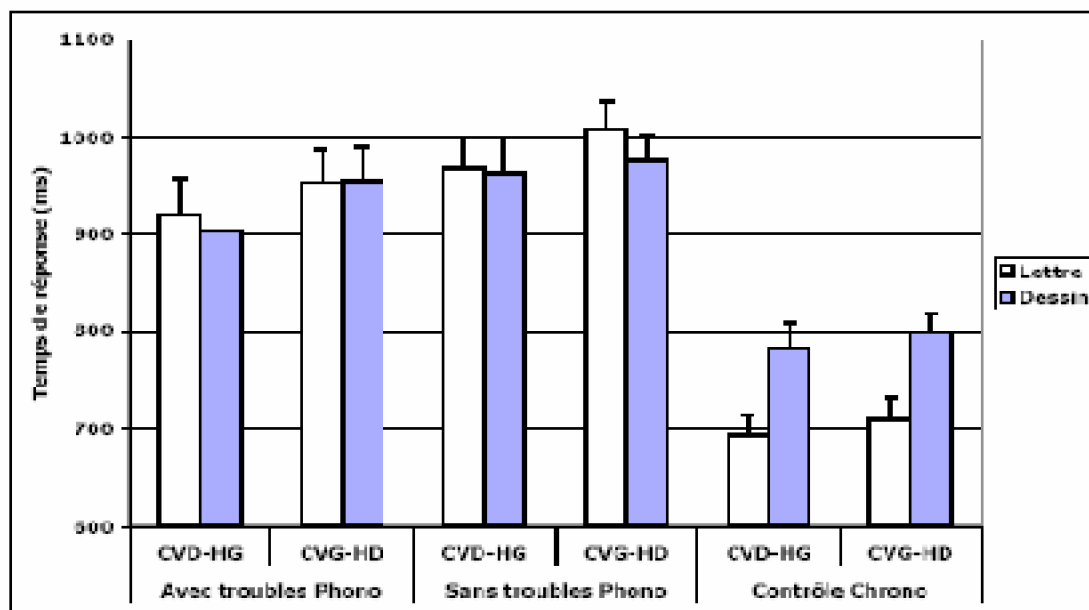


Figure 81. Temps de réponses moyens et erreurs standard selon la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec ou sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge chronologique (contrôle Chrono).

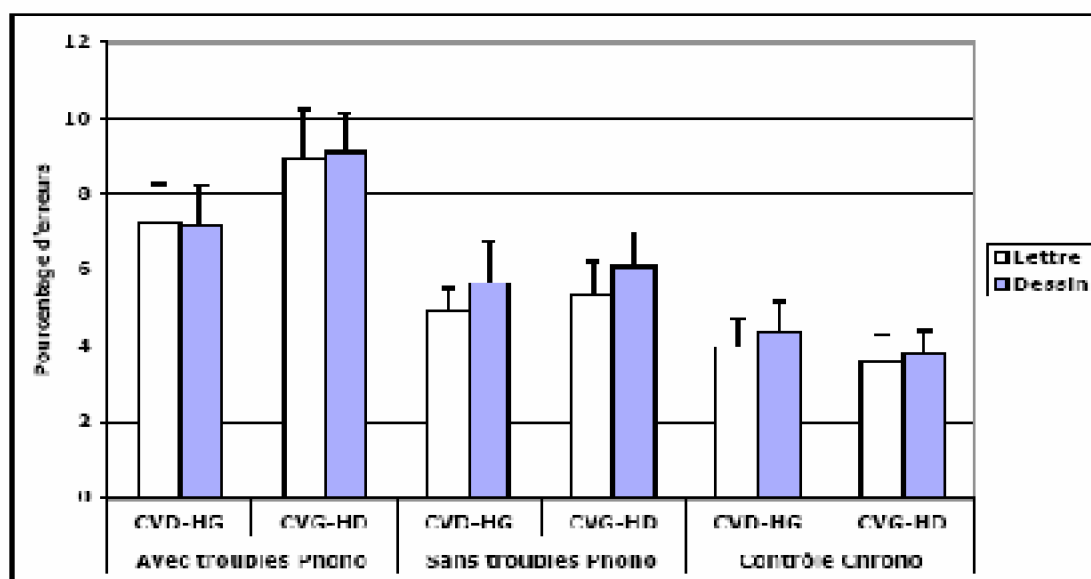


Figure 82. Pourcentages d'erreurs moyens et erreurs standard selon la catégorie et le niveau pour les deux groupes d'enfants dyslexiques (avec ou sans trouble phonologique) et le groupe contrôle apparié en âge chronologique (contrôle Chrono).

3. Discussion

L'objectif de l'Expérience 8 était double. Elle propose de tester, avec une situation vertu de la loi du droit d'auteur.

expérimentale requerrant un engagement différent de l'attention (focalisée sur un seul niveau de complexité dans chaque bloc), une hypothèse qui n'a été que partiellement vérifiée dans l'Expérience 7 avec un paradigme d'attention divisée. L'examen de la littérature scientifique sur le sujet fait globalement ressortir que les épreuves d'attention divisée sont plus propices à l'émergence d'effets d'asymétrie hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local. Toutefois, notre épreuve d'attention focalisée (Expérience 4 chez les adultes et Expérience 6 chez les enfants normo-lecteurs) a donné lieu à des réponses nettement plus rapides, pour des pourcentages d'erreurs comparables, que nos épreuves d'attention divisée (Expériences 1a et 1b chez les adultes et Expérience 5 chez les enfants). Aussi, il se peut que la plus grande facilité de l'épreuve d'attention focalisée permette d'éviter un certain effet plafond, et donc de faire ressortir plus clairement les effets des facteurs étudiés. Il se trouve d'ailleurs que, chez les enfants dyslexiques comme chez les autres participants, l'épreuve d'attention focalisée (Expérience 8) a donné lieu à des réponses nettement plus rapides que l'épreuve d'attention divisée (Expérience 7). L'autre objectif de l'Expérience 8 était de tester si les enfants dyslexiques sans trouble phonologique se caractérisent par un déficit d'attention visuo-spatiale affectant précisément un mécanisme d'inhibition d'information visuelle non pertinente issue du niveau d'information local (les détails) d'un objet visuel complexe : il s'agit de montrer d'une part que ce trouble relève de l'attention, et non de la catégorie du matériel (il devrait se manifester aussi bien sur les dessins d'objets hiérarchisés que sur les lettres hiérarchisées), et de montrer d'autre part que ce déficit est spécifique à ce type de dyslexie. Le fait que ce déficit ne soit pas présent dans l'un des groupes de dyslexiques contribuerait à justifier l'intérêt de typologies de la dyslexie, encouragerait la recherche des déficits cognitifs spécifiques sous-jacents, et permettrait enfin d'attribuer à ce type de déficit attentionnel un rôle dans l'origine de la dyslexie, plutôt qu'un statut de simple conséquence.

Limites de l'asymétrie hémisphérique pour les catégories lettres et dessins chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique

Sur ce point, les résultats de l'Expérience 8 apportent des résultats plus convaincants que ceux de l'épreuve précédente. L'interaction Catégorie X Champ X Type de dyslexie est en effet significative sur les latences. Elle reflète la présence d'une dominance de l'HG spécifique au traitement des lettres chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, alors que l'HG présente un avantage significatif aussi bien pour les lettres que pour les dessins d'objets hiérarchisés chez les enfants dyslexiques affectés d'un trouble phonologique : ces derniers se caractérisent donc, par rapport aux autres dyslexiques, par une absence de spécificité de l'avantage de l'HG pour la catégorie des lettres.

Cette même dominance hémisphérique gauche pour l'une et l'autre catégories distingue les dyslexiques avec trouble phonologique non seulement de l'autre groupe de dyslexiques, mais aussi, dans une moindre mesure, des enfants contrôles normo-lecteurs, bien que cela ne donne pas lieu à des interactions significatives. En particulier, contrairement aux dyslexiques avec un trouble phonologique, mais comme les dyslexiques non affectés d'un tel trouble, les enfants appariés en âge lexique, malgré leur

jeune âge, présentent déjà un avantage de l'HG moins net pour les dessins d'objets que pour les lettres hiérarchisées. De plus, sur les taux d'erreurs, c'est seulement chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, et non chez les enfants contrôles appariés en âge lexique ou en âge chronologique, que l'absence d'interaction Catégorie X Champ s'accompagne d'un avantage général significatif du CVD-HG pour l'ensemble des catégories. L'anomalie observée chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique concernant l'asymétrie hémisphérique pour les catégories ne traduit donc pas un simple retard, auquel cas leur profil aurait été semblable à celui des enfants appariés en âge lexique (Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000), mais une caractéristique qualitative du mode d'organisation anatomo-fonctionnel dans le domaine du traitement des catégories linguistiques ou non.

En bref, il est donc possible de parler d'un avantage de l'HG indifférencié selon la catégorie seulement dans le cas des enfants dyslexiques avec trouble phonologique et l'Expérience 8 apporte des arguments favorables à l'Hypothèse 4a, surtout à travers la comparaison avec les enfants souffrant d'une autre forme de dyslexie.

Un déficit d'attention visuo-spatiale propre aux enfants dyslexiques sans trouble phonologique

Une première anomalie qui caractérise les performances des enfants dyslexiques sans trouble phonologique se manifeste a priori à leur avantage : ils présentent une exactitude étonnante pour le traitement du niveau local. Alors que, d'une manière générale, les performances des deux groupes de dyslexiques sont bien équilibrées, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique sont en effet significativement plus précis dans leurs réponses que les autres enfants dyslexiques, spécifiquement pour le traitement de ce niveau.

Ce qui se traduit ici par un avantage, se traduit ailleurs par un effet négatif : lorsqu'une information concurrente pour la réponse est située au niveau local, alors que la consigne requiert une focalisation de l'attention au niveau global, cette information locale perturbe de manière anormalement forte les enfants dyslexiques sans trouble phonologique. En effet, les interactions significatives Interférence X Niveau X Groupe sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs traduisent, sur ces deux variables, le fait qu'une asymétrie de l'effet d'interférence se manifeste chez les enfants contrôles appariés pour l'âge chronologique, les contrôles appariés pour l'âge lexique et les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, mais pas chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique : dans les trois premiers groupes, les réponses sont ralenties et moins exactes surtout (et parfois seulement si) l'interférence est issue du niveau global, phénomène classique participant à l'*avantage du niveau global*, alors que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique sont significativement ralentis par les deux types d'interférence, sans que ce phénomène soit contredit par les données sur les taux d'erreurs. L'ensemble de ces données contribue donc à conforter notre Hypothèse 4c. De plus, le fait que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique se distinguent en cela non seulement des enfants normo-lecteurs de leur âge, mais aussi les normo-lecteurs plus jeunes appariés en âge lexique suggère que cette anomalie traduit un déficit cognitif important, qui ne se limite pas à un simple retard de développement.

Deux précisions semblent importantes pour mieux comprendre la nature de l'anomalie observée ici chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique.

La première est que l'absence d'asymétrie de l'interférence chez ces enfants s'accompagne d'un avantage pour le niveau global en terme de temps de réponse et d'exactitude. Certes, nous avons vu que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique commettent moins d'erreurs que les enfants dyslexiques avec trouble phonologique pour les cibles locales, mais dans chacun des groupes un avantage du niveau global est tout de même présent. Cela réplique les résultats d'autres travaux ayant montré que les deux composantes de l'avantage du niveau global ne sont pas toujours simultanément observées (LaGasse, 1993 ; Navon & Norman, 1983 ; Ridderinkhof & van der Molen, 1995) citer les auteurs de la partie, et qu'elles relèvent au moins en partie de mécanismes distincts, affectés de manière différente par des modifications des caractéristiques physiques des stimuli (Lamb & Robertson, 1989 ; Lamb & Yund, 1993 ; Lamb & Yund, 1996a), la manipulation de facteurs attentionnels (Lamb & Yund, 1993b), certaines lésions cérébrales (Lamb, Robertson, & Knight, 1989) ou l'âge des adultes testés (Bruyer, Scailquin, & Samson, 2003 ; Roux & Ceccaldi, 2001) : l'asymétrie de l'interférence reflèterait un phénomène d'ordre attentionnel, alors que l'avantage temporel pour le traitement du niveau global reposerait plus largement sur les aspects sensoriels des traitements (Blanca, Luna, Lopez-Montiel, Zalabardo, & rando, 2002 ; Hibi, Takeda, & Yagi, 2002 ; Humphreys, Riddoch, & quinlan, 1985 ; Lamb & Yund, 1996a ; Robertson & Lamb, 1991). Cela suggère aussi que, bien qu'elles exercent une interférence anormalement forte chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, les informations situées au niveau local ne sont pas pour autant traitées plus efficacement, à bas niveau de traitement visuel. Un constat du même type a été fait par des chercheurs s'intéressant aux capacités de traitement global et local chez des bébés qualifiés de *long-looker* ou *short-looker*. Nous avons vu dans la partie théorique du Chapitre 2 (partie 2.1.3) que, après une durée de familiarisation adaptée, les enfants *long-looker* sont davantage attirés, dans la phase test, par une information nouvelle au niveau local plutôt qu'au niveau global, alors que l'attraction inverse est décrite chez les enfants *short-looker* (Colombo, Freeseaman, Coldren, & Freck, 1995). Cela n'empêche pas que les deux groupes d'enfants présentent quand même une meilleure sensibilité à l'information globale qu'à l'information locale (Frick, Colombo, & Allen, 2000). Malgré leur meilleure sensibilité à l'information globale qu'à l'information locale, les enfants *long-looker* se caractériseraient donc par une attraction particulière de l'attention par les détails, qui mobiliseraient rapidement les ressources de traitement pour leur exploration. Sans chercher à assimiler les enfants dyslexiques sans trouble phonologique aux bébés *long-lookers*, une analogie est tout de même possible puisqu'il est question, dans les deux cas, d'une attraction particulière de l'attention par les informations de niveau local, non assortie d'une meilleure sensibilité visuelle de bas niveau pour le traitement des détails.

La deuxième précision permet de discuter l'Hypothèse 4d. L'intérêt d'utiliser des lettres et des dessins d'objets hiérarchisés est de s'assurer du caractère attentionnel du déficit observé chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, alors que la seule utilisation, plus classique, de lettres hiérarchisées n'aurait pas permis d'exclure que le

déficit en question soit relatif à la catégorie, ici linguistique, des stimuli proposés. A cet égard, nos résultats sont constants. Chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, une interférence significative ne se produit sur les latences que si elle est issue du niveau local, aussi bien pour les dessins d'objets hiérarchisés que pour les lettres hiérarchisées (résultat non contredit par les données sur les taux d'erreurs), alors que chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique cette interférence est significative quel que soit le niveau dont elle est issue et ceci pour la catégorie des dessins d'objets comme pour celle des lettres. L'analyse des taux d'erreurs ne contredit pas, dans ce groupe non plus, cette configuration des effets, et dans le cas de ces derniers enfants, il se trouve même que l'interférence issue du niveau local est supérieure à celle venant du niveau global surtout dans le cas des dessins d'objets hiérarchisés. Tout cela contribue à considérer que le déficit cognitif mis à jour chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique dans cette Expérience 8 relève de l'attention visuo-spatiale et non d'une difficulté inhérente à la nature linguistique du matériel.

4. Discussion générale sur les Expériences 7 et 8.

Comparaison des performances d'enfants relevant de différents types de dyslexie et d'enfants contrôles

Le principe retenu pour la conduite des deux expériences de ce Chapitre III était de comparer les performances de groupes d'enfants distincts quant au type de dyslexie dont ils sont atteints (les uns avec, les autres sans trouble phonologique), afin de détecter la présence de deux anomalies cognitives que nos hypothèses présentaient comme devant être chacune spécifique à l'un ou l'autre type de pathologie. Le choix de ne pas se limiter à la méthode classique de distinction entre dyslexie phonologique et dyslexie de surface à partir des taux d'échecs en lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots (Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang, & Peterson, 1996) était en partie guidé par le souhait de ne pas écarter de l'étude des enfants qui auraient alors été qualifiés de dyslexiques mixtes. En effet, la démarche classique pose le problème d'aboutir à l'émergence d'un large groupe d'enfants dont le profil est qualifié de mixte et qui sont pourtant souvent rejetés des échantillons, dans les études portant sur les déficits cognitifs sous-jacents à la dyslexie. Par exemple, en se limitant à ces critères classiques, une étude conduite auprès de dyslexiques français montre que moins de 3% des patients relèvent de la dyslexie phonologique et 23% de la dyslexie de surface (Genard, Mousty, Content, Alegria, Leybaert, & Morais, 1998) : les dyslexiques mixtes seraient donc fort nombreux. Or, comme nous l'avons expliqué dans la partie théorique (paragraphe 4.4.5.2., Chapitre III), le profil comportemental qui leur correspond pourrait résulter tout aussi bien d'un déficit phonologique initial, que d'un trouble visuo-attentionnel, d'où une certaine ambiguïté (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2006). Afin de mieux comprendre les déficits à l'origine des difficultés persistantes d'apprentissage de la lecture, il semble important à la fois de ne pas tenir ces enfants à l'écart des recherches, mais aussi d'échapper à cette ambiguïté.

C'est pourquoi il nous a semblé préférable de constituer des groupes qui s'opposent clairement sur la présence ou non d'un déficit phonologique. Il faut pour cela évaluer non

seulement les erreurs en lecture, mais aussi en écriture sous dictée, et effectuer un bilan assez complet des compétences dans le domaine méta-phonologique. Poser ce critère à la base d'une étude permet de rechercher ensuite ce qui, en dehors du seul déficit phonologique objectivé au départ, distingue les deux groupes d'enfants du point de vue du fonctionnement cognitif. De multiples hypothèses sont alors possibles. Nous nous sommes quant à nous intéressé, d'une part, à une éventuelle anomalie de la mise en place de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement d'un matériel alphabétique et, d'autre part, au déficit d'un mécanisme d'attention visuo-spatiale. Afin d'établir qu'un déficit cognitif, tel que la déficience d'un mécanisme visuo-attentionnel, entretient une relation causale avec la dyslexie, Valdois, Bosse et Tainturier (2004) insistent sur la nécessité de montrer que ce déficit se manifeste indépendamment de déficits phonologiques. De même, il est alors important de montrer que ce déficit attentionnel existe chez des enfants dyslexiques sans TDA/H, pour s'assurer qu'il n'est pas davantage lié à un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité qu'à la dyslexie (Moore, & Andrade, 2000). Les critères fondant la constitution des groupes d'enfants que nous étudions pourraient permettre de remplir ces deux conditions. L'intérêt d'une démarche conduite de cette manière est de tenter de contribuer à comprendre les troubles cognitifs des enfants dyslexiques, puis de considérer ces troubles comme des indices susceptibles d'affiner le diagnostic du type de dyslexie, afin d'envisager ensuite l'orientation vers des pistes de rééducation adaptées.

Pour conduire notre étude, les deux groupes devaient par ailleurs être comparables et nous avons pris soin pour cela d'apparier les enfants deux à deux pour leur âge lexique, l'équilibre de l'âge chronologique moyen des deux groupes étant assuré de manière plus globale. Ces deux groupes semblent pouvoir faire l'objet de comparaisons quant à la configuration de leurs performances selon les facteurs manipulés, dans la mesure où ils ne présentent pas, entre eux, de différence globale de vitesse ni d'exactitude des réponses.

Le choix de composer également des groupes d'enfants normo-lecteurs appariés selon l'âge lexique ou selon l'âge chronologique est guidé par le souhait de montrer que les particularités repérées dans les groupes de dyslexiques constituent véritablement des anomalies par rapport à des enfants sans problème d'apprentissage de la lecture. Ces deux groupes permettent des comparaisons avec des enfants qui ont développé un niveau d'expertise équivalent malgré leur plus jeune âge (groupe contrôle en âge lexique) ou qui ont fréquenté l'école et bénéficié d'une familiarisation avec l'écrit pendant une même durée (groupe contrôle en âge chronologique). La pertinence de la comparaison des performances des enfants dyslexiques à celles d'enfants appariés en âge chronologique et en niveau de lecture est défendue en particulier par Sprenger-Charolles, Colé, Lacert et Serniclaes (2000). Ils estiment que cela permet d'interpréter la configuration des résultats d'un enfant dyslexique comme témoignant soit d'un simple retard de développement (lorsque cette configuration est atypique par rapport au groupe apparié en âge chronologique, mais similaire à celle d'enfants plus jeunes et de même niveau de lecture), soit comme le fruit d'un déficit particulier qui le fait dévier du mode de développement typique (lorsque cette configuration est atypique par rapport à celle des enfants plus jeunes appariés en âge lexique). A notre sens, en plus de ces comparaisons

avec des groupes contrôles, la comparaison directe entre les deux types d'enfants dyslexiques présente l'intérêt de confronter les performances d'enfants appariés non seulement pour l'âge et le niveau de lecture, mais aussi pour les difficultés scolaires rencontrées et le désagrément que leur apportent vraisemblablement les situations impliquant un matériel alphabétique.

Etant donné le caractère rébarbatif que peut présenter le matériel alphabétique, il était envisageable que de moins bonnes performances se manifestent pour les lettres hiérarchisées que pour les dessins d'objets hiérarchisés chez les enfants dyslexiques. Ce n'est le cas dans aucune des deux expériences rapportées dans ce chapitre, l'effet du facteur catégorie n'étant significatif dans aucun groupe, que ce soit celui des enfants dyslexiques de l'un ou l'autre type ou les enfants normo-lecteurs appariés en âge lexique ou en âge chronologique. Ainsi, ni la familiarité de la catégorie Lettre, ni le faible attrait qu'elle est susceptible d'exercer sur les jeunes patients n'introduit de biais dans ces expériences et nous pouvons donc parler, par rapport à ces échantillons d'enfants, d'un certain équilibre entre les deux catégories de matériel présentées. Les particularités des enfants dyslexiques par rapport au traitement du matériel alphabétique sont plus subtiles.

Particularité de la dominance hémisphérique pour les niveaux d'analyse et les catégories chez des enfants dyslexiques

L'une de ces particularités correspond à une dominance hémisphérique atypique pour le traitement des lettres hiérarchisées et des dessins d'objets hiérarchisés chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique. Nous trouvons des indices de ce phénomène dans les Expériences 7 et 8.

Rappelons tout d'abord que nous nous attendions à observer, chez les personnes non dyslexiques, des dominances hémisphériques différentes, voire opposées, pour le traitement des lettres et des dessins d'objets. Cette attente s'appuyait sur plusieurs faits. Tout d'abord, rappelons que pour interpréter leurs résultats témoignant d'une influence de la catégorie des stimuli sur la dominance hémisphérique pour les traitements global et local, Fink et ses collègues (1997b) ont évoqué la dominance de l'HG pour les traitements réalisés sur un matériel langagier (ce qui expliquerait les activations hémisphériques gauches pour le traitement local des lettres hiérarchisées) et la dominance de l'HD pour la reconnaissance d'objets (McCarthy, & Warrington, 1990) (ce qui expliquerait les activations hémisphériques droites pour le traitement local des dessins d'objets hiérarchisés). D'autre part, nous avons fait état, dans les parties 4.1. et 4.2. du Chapitre II, de travaux montrant que des unités orthographiques aussi petites que des lettres peuvent engager des mécanismes visuo-attentionnels de manière différente selon le champ visuel de présentation, c'est-à-dire selon l'hémisphère auquel les stimuli sont le plus directement adressés. Des triplets de lettres sont ainsi mieux identifiés s'ils sont présentés en CVD-HG plutôt qu'en CVG-HD (Eng & Hellige, 1994), ce qui s'expliquerait par une distribution à la fois plus rapide et homogène de l'attention sur l'ensemble des lettres en CVD-HG (Hellige & Scott, 1997). De plus, des recherches ont mis à jour chez l'adulte l'implication particulière d'une région cérébrale pour le traitement des lettres : il s'agit d'une spécialisation qui s'établit tardivement et témoigne de la plasticité cérébrale (Polk & Farah, 1998). La région VWFA (*Visual Word Form Area*) serait ainsi un support du

traitement pré-lexical des mots écrits (Dehaene et al., 2002) : elle serait spécialisée dans l'extraction de la représentation abstraite d'une suite de lettres prenant en compte leur position précise. Elle est située dans le gyrus fusiforme médian gauche (Cohen et al., 2000 ; McCandliss et al., 2003) et, d'après Flowers et ses collègues (2004), une zone plus particulière pourrait même être spécifique au mécanisme précis d'identification des lettres (alors que la notion de VWFA implique aussi le codage de leur position). Un ensemble de données obtenues en imagerie cérébrale confirme l'implication de cette région latéralisée à gauche pour le traitement de simples lettres (Garrett et al., 2000 ; Polk et al. 2002), phénomène véritablement induit par le statut linguistique de ces dernières, puisqu'il ne se produit pas pour des lettres appartenant à un alphabet non connu du participant (Pernet, Celsis, & Démonet, 2005). La latéralisation gauche de ce support neuro-anatomique permettait d'attendre, dans le cas de lettres hiérarchisées comme dans celui de mots ou de pseudo-mots écrits, l'observation d'une dominance de l'HG.

Nous avons interprété dans les discussions spécifiques aux Expériences 7 et 8 les résultats obtenus à propos des phénomènes de dominance hémisphérique pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet chez les enfants dyslexiques.

Pour résumer, l'Expérience 8 apporte les arguments les plus directs à propos d'une anomalie de l'asymétrie hémisphérique pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objet chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique (Bedoin, Lévy-Sebbag, & Kéïta, 2005). L'analyse des temps de réponse dans cette épreuve d'attention focalisée met en effet à jour une interaction significative entre les facteurs catégorie, champ et type de dyslexie : alors que les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent une dominance de l'HG spécifique au traitement des lettres, les enfants dyslexiques avec trouble phonologique présentent cette dominance aussi bien pour les lettres que pour les dessins d'objets. Ils se caractérisent donc par une absence de spécificité de la dominance de l'HG pour le traitement du matériel alphabétique. Une restriction de la dominance de l'HG à la catégorie des lettres est pourtant déjà visible dans cette expérience dans le groupe d'enfants appariés pour l'âge lexique, mais bien plus jeunes en âge réel. L'évaluation de l'exactitude des réponses concorde avec ce constat : par rapport aux autres enfants dyslexiques ainsi qu'aux deux groupes d'enfants contrôles, les enfants dyslexiques avec trouble phonologique se caractérisent là aussi par un avantage général de l'HG pour l'une et l'autre catégories. Leur profil étant dissemblable de celui des enfants plus jeunes appariés en âge lexique, le fait que leur spécialisation hémisphérique gauche ne soit pas restreinte au matériel linguistique ne peut être interprété comme un simple retard de développement.

L'Expérience 7 apporte elle aussi des arguments dans le même sens, bien que globalement moins convaincants, car parfois issus d'interactions non significatives (Kéïta, Bedoin, Mérigot, & Herbillon, 2005). Dans cette épreuve d'attention divisée, les enfants dyslexiques dépourvus de trouble phonologique présentent un profil conforme à celui attendu pour un lecteur normal : nous ne recueillons certes pas d'indice d'une meilleure compétence de l'HD pour le traitement des dessins d'objets, mais nous observons dans ce groupe une dominance de l'HG seulement pour les lettres hiérarchisées. La dominance hémisphérique gauche pour les traitements langagiers semble donc bien se manifester chez eux, pour le traitement de simples lettres. Les enfants dyslexiques qui

présentent un trouble phonologique se distinguent sur ce point. En effet, l'examen de leurs données dans cette expérience ne fait cette fois ressortir aucun indice de dominance hémisphérique pour l'une ou l'autre catégorie. Etant donné que l'interaction entre les facteurs catégorie, champ visuel et type de dyslexie n'est pas significative, il convient toutefois de considérer ces résultats avec prudence. De plus, afin de mieux comprendre en quoi les enfants dyslexiques avec trouble phonologique se distinguent concernant ces phénomènes de dominance hémisphérique, il convient de considérer la façon dont ils se produisent en fonction des niveaux d'analyse (global ou local) : c'est la prise en compte de ce facteur supplémentaire qui nous éclaire sur leurs particularités, non seulement par rapport aux enfants dyslexiques sans trouble phonologique, mais aussi par rapport aux enfants contrôles.

Un résultat marquant de notre étude est en effet que, de manière statistiquement significative, la modulation exercée par les catégories sur la dominance hémisphérique pour le traitement des niveaux global et local ne se fait pas de la même façon selon le type de dyslexie dont l'enfant est atteint.

Cette modulation s'exerce en effet seulement dans le groupe d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique ; elle s'exerce même alors de manière particulièrement marquée, plus clairement encore que chez les enfants normo-lecteurs appariés en âge lexique ou même appariés en âge chronologique. Pour rester dans le cadre de l'interprétation proposée par Fink et ses collègues (1997b), il apparaît donc que les enfants présentant une dyslexie sans déficit phonologique de notre échantillon disposent à la fois d'une spécialisation hémisphérique gauche suffisamment marquée pour le traitement verbal et de capacités de modulation attentionnelle de haut niveau suffisantes, pour permettre de contrôler l'engagement des mécanismes cognitifs les plus adaptés au traitement de certaines catégories et compenser ainsi la vulnérabilité potentielle de l'information située au niveau local. Ils présentent, sur ce point, un profil tout à fait mature. Il est même étonnant d'observer chez eux, même pour le traitement du niveau global, une configuration de données allant tout à fait dans le sens de l'interprétation de Fink et ses collègues (1997b), et que nous n'avons d'ailleurs pas toujours retrouvée chez les normo-lecteurs, même adultes. Chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, l'hémisphère qui présente une dominance pour le traitement global est en effet celui qui n'est pas mobilisé pour le traitement local compte tenu de ses compétences pour la catégorie du matériel. Tout se passe comme si les enfants atteints de ce type de dyslexie avaient tendance à mettre fortement à profit leur spécialisation hémisphérique pour les traitements verbaux, afin de favoriser l'identification des lettres situées dans des ensembles, ce qui est sans doute une très bonne stratégie pour des enfants en grande difficulté avec l'écrit.

Chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique, au contraire, aucune modulation ne semble être exercée par la catégorie du matériel sur la dominance hémisphérique pour le traitement de l'un ou l'autre niveau. Chez ces enfants, les phénomènes de dominance hémisphérique en lien avec les niveaux d'analyse et les catégories ne se manifestent pas de la même façon sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, mais l'ensemble permet tout de même d'aboutir à une interprétation finale cohérente.

Sur les temps de réponses, ces enfants dyslexiques avec trouble phonologique ont surtout la particularité de ne pas présenter de véritable dominance hémisphérique gauche pour le traitement local, contrairement aux enfants relevant de l'autre type de dyslexie et aux enfants contrôles. De plus, il se trouve que cette dominance gauche au niveau local est, dans leur cas, encore plus faible pour les lettres que pour les dessins d'objets, ce qui est vraiment atypique par rapport à l'influence que devraient exercer les catégories. Il apparaît même que, pour ce niveau local, l'HG ne permet pas plus une accélération des réponses pour les lettres par rapport aux dessins, que l'HD ne permet un traitement plus rapide des dessins d'objets par rapport aux lettres. Dans l'ensemble, d'après les données sur les temps de réponse, le traitement du niveau local ne fait donc pas chez eux l'objet de l'implication de mécanismes clairement latéralisés, que ce soit selon leur compétence pour un certain niveau d'analyse ou pour une certaine catégorie.

Les données se présentent un peu différemment sur les taux d'erreurs. Les enfants dyslexiques avec trouble phonologique manifestent alors une véritable dominance de l'HG pour le traitement local. Cela suggère qu'ils disposent donc quand même de mécanismes spécialisés et latéralisés pour le traitement des niveaux d'analyse d'un objet visuel complexe. Leur particularité est en fait de ne pas moduler le traitement de ces niveaux en engageant des mécanismes latéralisés différemment selon la catégorie du matériel. Il n'est pas exclu que cela soit dû à un déficit quant à la mise en place d'un processus de haut niveau susceptible de régler cette modulation, mais il est aussi vraisemblable que cela soit dû simplement à la faible spécialisation hémisphérique de leurs mécanismes de traitement dans le domaine verbal. Cette particularité les différencie non seulement des enfants présentant un type de dyslexie sans trouble phonologique, mais aussi des enfants normo-lecteurs de leur âge, avec pour cela des interactions significatives, nous l'avons vu, pour les facteurs catégorie, niveau, champ et groupe. Même dans le cas des enfants normo-lecteurs plus jeunes (appariés en âge lexique), nous observons l'émergence d'une restriction de la dominance de l'HG pour le traitement local au seul cas des lettres hiérarchisées, émergence rapide qui confirme celle que nous avons observée auprès de plus grands groupes d'enfants dans le Chapitre II. Dans le cas normal, nous avons en effet observé une dominance générale de l'HG pour le traitement du niveau local chez les enfants scolarisés en CP, mais elle s'atténue rapidement pour le traitement local de dessins d'objets hiérarchisés, sans doute sous l'effet d'un processus de haut niveau modulant l'engagement de mécanismes latéralisés selon leur compétence croissante pour telle ou telle catégorie. Aussi, la comparaison avec les performances d'enfants normo-lecteurs plus jeunes permet de dire que l'anomalie de l'organisation anatomo-fonctionnelle apparue à travers les résultats des enfants dyslexiques atteints de troubles phonologiques ne se limite pas à un simple retard de développement, mais atteste une distorsion de la mise en place de spécialisations hémisphériques pour les traitements langagiers chez ces enfants. Cette particularité n'est pas non plus la simple conséquence de l'échec de l'apprentissage de la lecture, car des enfants relevant de l'autre type de dyslexie, appariés pour le niveau de lecture et le nombre d'années de familiarisation avec le matériel alphabétique, ne présentent pas cette anomalie de la dominance hémisphérique.

Le fait que la dominance hémisphérique ne diffère pas pour les catégories lettres et

dessins d'objets chez les enfants dyslexiques avec trouble phonologique concorde avec les hypothèses situant l'origine de leur trouble persistant de l'apprentissage de la lecture dans un déficit d'ordre linguistique/phonologique, portant sur les catégories de sous-unités phonologiques du langage (Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997 ; Rosen, 2003 ; Rosen & Manganari, 2001 ; Schulte-Körne et al., 1998 ; Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré, & Démonet, 2001). Cette recherche va également dans le sens d'autres travaux montrant aussi une hypoactivité d'aires cérébrales latéralisées à gauche, notamment dans la région temporale inférieure gauche (Georgiewa et al., 1999) ou encore temporo-pariétale gauche (Paulesu et al., 2001 ; Silani et al., 2005 ; Temple et al., 2001) lors de traitements verbaux chez des enfants dyslexiques. Puisque deux groupes distincts d'enfants dyslexiques sont comparés dans notre étude, nous pouvons cependant ajouter que certains troubles de l'asymétrie hémisphérique fonctionnelle par rapport aux traitements langagiers concerne plus particulièrement un type précis de dyslexie : celle qui est associée à un trouble phonologique majeur. De plus, ce travail montre qu'une anomalie de l'organisation anatomo-fonctionnelle à l'égard du matériel linguistique ou non linguistique chez ces enfants peut être détectée au moyen d'une simple épreuve recueillant des données comportementales.

La conception de l'Expérience 8 était en partie guidée par le souhait de mettre en place un outil respectant certaines contraintes de temps et de matériel liées aux conditions dans lesquelles les bilans de dyslexie se font. En permettant de détecter une anomalie que nous avons décrite comme spécifique aux enfants dyslexiques avec trouble phonologique, tant par rapport aux enfants contrôles que par rapport aux enfants atteints d'une autre forme de dyslexie, cette épreuve pourrait contribuer à l'affinement du diagnostic différentiel du type de dyslexie. Etant donné qu'un nombre croissant de travaux montre aujourd'hui que les compétences dans le domaine phonologique et dans celui de l'attention visuo-spatiale contribuent indépendamment à expliquer les compétences en lecture (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2004), pour être performant, un tel outil devrait pouvoir aussi permettre, simultanément, de détecter un autre déficit spécifique cette fois à une forme de dyslexie. L'épreuve élaborée pour l'Expérience 8 essaie de remplir cette condition, en testant aussi la présence d'un déficit visuo-attentionnel particulier, qui pourrait être associé à un type de dyslexie non accompagnée de trouble phonologique.

Déficit d'un mécanisme d'attention visuo-spatiale chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique

L'hypothèse que nous avons posée à propos d'un trouble relevant du domaine de l'attention visuo-spatiale chez certains dyslexiques s'inscrit dans une perspective pluraliste des explications cognitives de la dyslexie. Il s'agit à la fois de mettre en évidence l'existence d'un tel déficit chez des enfants dyslexiques, de proposer comment celui-ci peut avoir contribué au faible niveau de lecture de l'enfant, et de montrer qu'il concerne un type précis de dyslexie : nous prédisions la présence de ce déficit essentiellement chez des enfants dyslexiques dont les difficultés majeures avec l'écrit peuvent difficilement s'expliquer par un trouble phonologique. Il s'agit en fait d'un type de dyslexie développementale, généralement dit *de surface*, dont l'existence n'est pas encore unanimement reconnue et pour laquelle il n'y a toujours pas de certitude quant à

la nature exacte du (ou des) déficit(s) cognitif(s) sous-jacent(s).

Pour certains chercheurs, toute dyslexie développementale s'expliquerait essentiellement par un déficit phonologique, concernant notamment la conscience phonémique ou la mémoire phonologique à court terme, car ces déficits seraient détectables aussi bien chez des enfants dyslexiques phonologiques que chez des dyslexiques de surface (Sprenger-Charolles et al., 2000). Les déficits phonologiques se manifesteraient seulement de manière différente dans les deux types de dyslexie : sur les temps de traitement chez les dyslexiques phonologiques et sur l'exactitude chez les dyslexiques de surface. Souffrant d'une même déficience à la base, les deux types d'enfants se distingueraient seulement par la stratégie qu'ils mettent en place, privilégiant la vitesse (dyslexie de surface) ou la précision de leurs productions (dyslexie phonologique). Pourtant, d'autres recherches, conduites à partir d'études de cas (Valdois, 1996, Valdois et al., 2003 ; Zorman, 2002) ou de groupes (Herbillon, 2001) défendent l'existence d'un type d'enfants dyslexiques dont les capacités méta-phonologiques sont préservées. La controverse demeure donc quant à la spécificité fondamentale de différentes formes de dyslexie.

Même lorsque son existence est reconnue, la dyslexie de surface chez l'enfant est une pathologie encore assez énigmatique. Certains l'interprètent comme un simple retard de développement, car les performances de ces patients seraient proches de celles d'enfants normo-lecteurs plus jeunes (Genard et al., 1998 ; Manis et al., 1996 ; Stanovitch, Siegel, & Gottardo, 1997). Des hypothèses portant sur des troubles spécifiques ont toutefois été formulées, évoquant par exemple un déficit de mémoire visuelle à court terme qui entraverait l'acquisition de connaissances sur des formes orthographiques de mots ; cette hypothèse a toutefois été écartée, notamment par Sprenger-Charolles et ses collègues (2000).

Plus généralement, des déficits d'attention visuo-spatiale sont évoqués, comme nous l'avons expliqué dans la partie 4.4.5. du Chapitre III. L'hypothèse est que ces déficits pourraient résulter du dysfonctionnement de structures corticales pariétales (Jaskowski & Rusiak, 2005 ; Wimmer, Hutzler, & Wiener, 2002) et comme cette région reçoit des informations majoritairement véhiculées par la voie magnocellulaire, ces explications ne sont pas incompatibles avec la théorie magnocellulaire. En résumé, ce type d'hypothèse s'appuie sur le constat de corrélations entre les performances dans des épreuves d'attention visuo-spatiale et les difficultés d'apprentissage de la lecture (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2004 ; Casco, Tressoldi, & Dellantonio, 1998 ; Jacquier-Roux, Valdois, & Zorman, 2006), mais aussi sur la détection de déficits d'attention sélective chez certains dyslexiques (Jaskowski & Rusiak, 2005 ; Marendaz, Valdois, & Walch, 1996 ; Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004 ; Valdois, Gérard, Vanault, & Dugas, 1995) et sur l'efficacité de rééducations portant sur les traitements visuo-attentionnels de jeunes patients (Facoetti, Larusso, Paganoni, Umiltà, & Mascetti, 2003 ; Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola, & Mascetti, 2000 ; Valdois & Launay, 1999). Les compétences d'attention visuo-spatiale ne sont sans doute pas toutes déficitaires et nous avons proposé une synthèse des principales composantes susceptibles de dysfonctionner. Un déficit de l'orientation volontaire de l'attention est le plus souvent mis en avant (Marendaz, Valdois, & Walch, 1996 ; Stein, 1991 ; Vidyasagar & Krammer, 1999), mais nous avons vu qu'il pourrait

lui-même s'expliquer par des déficits variés. Sont évoquées notamment, une distribution anormale de l'attention dans l'espace, à la fois trop diffuse (Facoetti, Paganoni, & Lorusso, 2000) et asymétrique (Facoetti & Turatto, 2000 ; Facoetti, Turatto, Lorusso, & Mascetti, 2001 ; Fowler, Riddell, & Stein, 1990 ; Hari & Koivikko, 1999), mais aussi des difficultés d'ajustement de la taille d'une fenêtre attentionnelle indispensable à l'identification des unités et à l'encodage de leur emplacement en lecture (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2006 ; Iles, Walsh, & Richardson, 2000 ; Romani, Ward, & Olson, 1999 ; Vidyasagar, 2004) et enfin un déficit du filtrage vraisemblablement lié au dysfonctionnement de mécanismes d'inhibition. Le déficit que nous décrivons chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique, à partir de leurs performances dans l'Expérience 8, pourrait relever de ces deux derniers types de dysfonctionnement.

Les travaux de Geiger et ses collègues jouent un rôle important dans la mise en évidence de déficits d'inhibition d'informations visuelles chez des enfants dyslexiques. Leur attention serait particulièrement diffuse car l'information périphérique ne serait pas suffisamment filtrée : dans leur cas, une information centrale serait donc à la fois particulièrement masquée par des distracteurs très proches (Geiger & Lettvin, 1997 ; Pernet, Valdois, Celsis, & Démonet, 2006), mais aussi par des éléments éloignés mais insuffisamment inhibés (Geiger & Lettvin, 2000 ; Geiger, Lettvin, & Fahle, 1994). En montrant que l'orientation endogène de l'attention vers une région de l'espace ne s'accompagne pas, chez des personnes dyslexiques, d'une inhibition de la partie opposée de l'espace, Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umiltà et Mascetti (2003) contribuent aussi à accréditer l'hypothèse d'un déficit d'inhibition. Si l'ensemble de ces travaux a permis de révéler des déficiences de l'attention visuo-spatiale dans la dyslexie développementale, elles sont généralement décrites comme communes à différents types de dyslexie. A cet égard, notre approche est différente, puisqu'elle vise à isoler un déficit visuo-attentionnel précis associé à un type de dyslexie caractérisé par l'absence de trouble phonologique majeur.

Nous avons décrit le déficit d'attention visuo-spatiale que nous avons détecté avec l'Expérience 8 comme une difficulté à échapper à l'interférence issue d'une information située au niveau local d'un objet visuel complexe, lorsque l'attention est volontairement focalisée sur le niveau global (Bedoin, Lévy-Sebbag, & Kéïta, 2005 ; Kéïta, Bedoin, Herbillon, Lévy-Sebbag, & Mériqot, 2005). Rappelons en effet que, dans l'Expérience 8, l'analyse des temps de réponse tout comme celle des taux d'erreurs fait ressortir une interaction significative entre les groupes d'enfants testés et l'asymétrie de l'interférence. Contrairement aux enfants dyslexiques avec trouble phonologique, mais aussi aux enfants contrôles appariés soit en âge lexique, soit en âge chronologique, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique ne présentent pas d'asymétrie de l'interférence et leurs réponses sont significativement ralenties par l'information non pertinente, tout autant lorsqu'elle est issue du niveau global que du niveau local. Il ne s'agit pas d'un simple retard de développement, mais bien d'une anomalie qui distingue profondément un aspect de leur fonctionnement cognitif de celui des autres enfants, y compris plus jeunes. De plus, nous montrons que ce dysfonctionnement relève de l'attention visuo-spatiale, et non du seul domaine des traitements linguistiques, puisqu'il se manifeste tant pour le traitement de dessins d'objets hiérarchisés que pour celui de lettres hiérarchisées. Cela

conduit ces enfants à identifier avec retard, et de manière assez imprécise, la forme globale d'un objet visuel complexe, parce qu'ils sont fortement perturbés par le conflit introduit par l'identification de l'information concurrente au niveau des détails, ce qui complique la sélection de la réponse.

Nous avons vu que la co-occurrence de ce trouble et de l'avantage pour le niveau global ne permet pas d'expliquer les difficultés de ces enfants dyslexiques par une faible sensibilité visuelle de bas niveau pour l'information de grande taille. Bien qu'ils ne les identifient pas de manière particulièrement performante, les enfants dyslexiques sans trouble phonologique semblent essentiellement subir une attraction particulière pour les informations de niveau local, qui mobilisent de manière inappropriée leurs ressources attentionnelles.

Une telle particularité est compatible avec certaines hypothèses actuelles, que nous venons de rappeler. La difficulté à identifier l'information globale dans un stimulus hiérarchisé pourrait être en effet assimilée à une réduction de la taille de l'espace sur lequel une information peut être extraite en parallèle et de manière précise : il s'agirait alors d'une réduction de la fenêtre attentionnelle. Sans nier son intérêt, cette explication ne semble toutefois pas suffisante pour expliquer les résultats de notre échantillon d'enfants dyslexiques sans trouble phonologique. En effet, ceux-ci sont, certes, anormalement perturbés par l'information issue des détails de l'objet, mais présentent aussi un avantage général du niveau global. Aussi, une difficulté à ajuster une fenêtre attentionnelle sur une forme de grande taille ne paraît pas suffisante pour rendre compte de leurs performances.

Etant donnée l'organisation *hiérarchique* des stimuli pour lesquels les enfants dyslexiques sans trouble phonologique présentent des particularités de traitement, il est possible que ces enfants présentent surtout une difficulté à traiter une forme de grande taille dans le cas où elle est en présence de ses nombreux détails. Le trouble cognitif de ces enfants serait alors caractérisé par une difficulté à sélectionner correctement l'information située à un certain niveau (en l'occurrence, global), défini par sa position dans l'organisation hiérarchique de l'objet, plutôt que par sa seule taille. Une prise en compte précise des niveaux auxquels les informations sont respectivement associées est en effet indispensable à la réussite dans les épreuves de discrimination de cible avec focalisation sur un niveau. La combinaison entre l'identité des informations et des niveaux auxquels ils correspondent a été décrite comme une opération attentionnelle relativement tardive dans le traitement des stimuli hiérarchisés : selon Hübner et Volberg (2005), elle impliquerait le mécanisme attentionnel de *binding*. Le déficit que nous avons repéré chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique pourrait impliquer cette étape du traitement, qui s'impose particulièrement dans les épreuves d'attention focalisée comme l'Expérience 8 (Hübner, Volberg, & Studer, in press). Si c'est le cas, étant donné que ces enfants ne souffrent pas d'une interférence anormalement forte dans son ensemble, mais seulement lorsqu'elle est issue du niveau local, cela signifierait que seul le mécanisme attentionnel associant la représentation de l'information identifiée au niveau local est déficitaire. L'enfant qui ne parviendrait pas à assigner exclusivement les informations de détail au niveau local ne serait pas ensuite en mesure de les inhiber sélectivement. Une telle interprétation est tout à fait possible dans le cadre du modèle proposé récemment

par Hübner et ses collègues, car ces chercheurs apportent des arguments selon lesquels les mécanismes permettant l'association de l'information de détail avec le niveau local d'une part, et l'association de l'information sur la forme d'ensemble avec le niveau global d'autre part, sont distincts et même sous-tendus par des régions cérébrales latéralisées de façon opposée (Volberg & Hübner, 2006). Aussi, il est possible que seul celui permettant d'associer les détails et le niveau de complexité local soit déficitaire chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique.

Nous avons cependant aussi envisagé une autre interprétation, elle aussi exprimée en termes attentionnels. Il se peut que ce soit l'un des mécanismes d'inhibition d'information visuelle, celui spécifiquement associé au niveau local de la hiérarchie d'un objet complexe, qui soit déficitaire. Un tel déficit n'est pas improbable, compte tenu des résultats que nous avons obtenus auprès d'enfants scolarisés en école primaire et relatés dans le Chapitre II. Ils témoignent en effet du développement assez lent des capacités de filtrage. D'autres données de la littérature montrent aussi que le développement de ces capacités se prolonge sur de nombreuses années (voir partie 2.2.4.1. du Chapitre II), ce qui s'explique au moins en partie par la mise en place assez lente de mécanismes d'inhibition (Camus, 2003 ; Enns & Cameron, 1987 ; Enns & Akhtar, 1989 ; Pasto & Burack, 1997 ; Ridderinkhof, van der Molen, Band, & Bashore, 1997 ; Tipper, Bourque, Anderson, & Brehaut, 1989 ; Williams, Ponesse, Schachar, Logan, & Tannock, 1999). Nos données ont montré que l'enfant s'affranchit progressivement de la perturbation produite par l'information issue d'un niveau non pertinent, mais ceci à des rythmes différents selon le niveau global ou local de l'information à inhiber. D'autres travaux avaient déjà montré que les capacités de traitement de l'un et l'autre niveaux d'analyse se développent à des rythmes différents, le traitement du niveau global atteignant plus tardivement son niveau de maturation maximal (Burack et al., 2000 ; Dukette & Stiles, 1996 ; Dukette & Stiles, 2001 ; Enns et al., 2000 ; Kimchi, Hadad, Behrmann, & Palmer, 2005). Les données que nous avons obtenues complètent cette information en précisant que le mécanisme d'inhibition de l'information locale non pertinente se développerait quant à lui jusqu'à un âge plus tardif que celui qui permet d'inhiber l'information située au niveau global, pour atteindre d'ailleurs ainsi un niveau d'efficacité particulièrement élevé. Comme ces deux mécanismes d'inhibition semblent présenter une certaine indépendance, au moins quant à leur développement, il n'est donc pas exclu que l'interférence anormalement élevée produite par l'information située au niveau local chez les enfants dyslexiques sans trouble phonologique soit due au seul déficit du mécanisme d'inhibition de l'information située à ce niveau de la hiérarchie.

Au final, le déficit particulier mis en évidence dans l'Expérience 8 pour les enfants dyslexiques sans trouble phonologique se traduit par une difficulté à répartir l'attention de manière harmonieuse et appropriée sur un stimulus visuel complexe, et il pourrait être à ce titre, au moins en partie, à l'origine des difficultés d'apprentissage de la lecture chez ces enfants. Il pourrait en particulier les empêcher de considérer le mot comme une unité bien organisée et compromettrait le stockage de représentations orthographiques complètes. Des difficultés à automatiser le processus de reconnaissance de mot en lecture s'ensuivraient. Cela expliquerait pourquoi les enfants atteints d'une dyslexie de surface ont tellement de difficultés à traiter les mots irréguliers, très nombreux en français, même s'ils sont familiers. Dans le déroulement du processus de reconnaissance de mot

lui-même, ce déficit pourrait aussi entraver la distribution efficace de l'attention sur un ensemble de détails (les lettres) pour les identifier de manière précise dans le mot en prenant en compte leur disposition spatiale dans l'ensemble, c'est-à-dire en appréhendant le mot dans sa totalité. Pour reprendre les termes de la théorie de LaBerge et Brown (1989), le trouble visuo-attentionnel de ces enfants se manifesterait par une difficulté à ajuster l'attention aux frontières du grand stimulus composite constitué par le mot et par une tendance à focaliser l'attention de façon séquentielle sur les unités qui le composent. Cette attraction irrésistible pour les détails pourrait ainsi les tenter à sur-développer une procédure de lecture analytique, également encouragée par des compétences phonologiques correctes.

En résumé, nous avons apporté des arguments soutenant que, chez les dyslexiques atteints d'un trouble phonologique vraisemblablement à l'origine de leurs difficultés de lecture, il est possible de repérer une difficulté à développer une spécialisation hémisphérique pour le traitement du matériel alphabétique en tant que catégorie particulière, et langagière. De même, nous avons tenté de comprendre certains déficits cognitifs propres aux enfants dyslexiques dont les difficultés de lecture ne s'accompagnent pas d'un trouble phonologique majeur. Il s'agirait notamment d'un déficit d'attention visuo-spatial qui semble suffisamment net, mais aussi potentiellement néfaste au développement du processus de reconnaissance de mot, et cohérent avec les stratégies de prédilection des enfants dyslexiques de surface, pour être un élément susceptible de contribuer largement à l'établissement de troubles importants et persistants de l'apprentissage de la lecture. Nous espérons que la piste ouverte par cette recherche permettra de contribuer à mieux comprendre les déficits cognitifs des enfants dyslexiques et à encourager l'utilisation d'épreuves permettant d'affiner le diagnostic différentiel du type de dyslexie, afin d'orienter au mieux l'enfant vers des prises en charges adaptées.

Conclusion générale

Le questionnement à l'origine de notre thèse portait sur l'implication de processus attentionnels dans le traitement de stimuli visuels complexes. Il nous a tout d'abord amené à nous intéresser à un processus de haut niveau, susceptible de moduler l'implication de divers mécanismes latéralisés (selon leur spécialisation pour des niveaux d'analyse, mais aussi des catégories) dans les traitements global et local de stimuli hiérarchisés, puis à étudier le processus permettant d'alterner la prise en compte des détails et de la forme d'ensemble d'un stimulus visuel complexe et enfin à nous centrer sur les mécanismes cognitifs permettant d'inhiber l'information issue d'un certain niveau.

Nous avons montré, à travers une série de 8 expériences chez l'adulte, que le traitement des niveaux global et local est modulé par la connaissance de la catégorie des stimuli. L'influence en question relève véritablement d'un haut niveau de traitement, puisque nous avons montré que connaître à l'avance la catégorie du stimulus est indispensable pour que des mécanismes latéralisés selon leur compétence pour le traitement de certaines catégories soient engagés, notamment pour analyser l'information locale. L'ensemble des résultats corrobore les données obtenues en imagerie cérébrale par Fink et ses collègues (1996, 1997b). Il permet d'accréditer et d'approfondir leur interprétation, selon laquelle ces modulations seraient destinées essentiellement à optimiser le traitement de l'information *potentiellement* la plus vulnérable, car située au niveau local. Ainsi, sans remettre en cause l'influence de processus de bas niveaux sur le traitement des niveaux global et local, nous apportons des arguments à propos de l'influence du domaine de connaissances des stimuli sur la spécialisation hémisphérique pour le traitement des niveaux, ceci avec plusieurs paradigmes (attention divisée et

attention focalisée). Nous montrons donc qu'il est important de prendre en considération la catégorie des stimuli présentés, pour toute étude visant à mieux comprendre le traitement cognitif des stimuli visuels offrant des informations organisées hiérarchiquement.

Convaincus de l'intervention de ces processus de haut niveau sur le traitement des informations globales et locales, nous nous sommes intéressés à leur mise en place chez des enfants normo-lecteurs de 6 à 10 ans, à travers deux expériences. Bien que peu de recherches sur le sujet soient parvenues à montrer des effets de dominance hémisphérique convaincants avant 8 ou 10 ans, nos résultats montrent qu'il est toutefois possible d'en recueillir des indices significatifs dès 6 ans. Nous montrons également que l'influence d'une modulation exercée par les catégories sur ces dominances hémisphériques, initialement (et par défaut) déterminées par les compétences de mécanismes latéralisés selon leur compétence pour certains niveaux d'analyse, devient peu à peu possible et commence à s'exprimer avant l'adolescence. Un prolongement de cette recherche pourrait être de mieux cerner le décours temporel de ces effets, en testant notamment des groupes d'enfants légèrement plus âgés (12 et 14 ans), afin de vérifier à partir de quand leur profil rejoint tout à fait celui des adultes.

Pour ce qui est de la capacité à gérer le traitement de plusieurs niveaux de complexité dans des stimuli hiérarchisés, l'implication de mécanismes attentionnels est également centrale. Nous les avons pris en compte en nous intéressant au processus de changement de niveau d'analyse entre des items successifs. Nous avons à ce propos défendu l'idée selon laquelle ce processus impliquerait plusieurs opérations, susceptibles d'être étudiées sélectivement. Nous avons ainsi proposé que l'opération de passage entre les niveaux est précédée par une opération de *désélection*, basée sur un mécanisme d'inhibition du mode de traitement préalable et devenu inapproprié. Nous avons proposé de l'étudier de manière isolée, en évaluant sa sensibilité à un facteur qui pourrait entraver spécifiquement son déroulement : l'augmentation du nombre de traitements préalablement réalisés à un autre niveau d'analyse. Nous avons ainsi répliqué l'effet négatif d'un nombre élevé de telles répétitions avant un changement de niveau (Wilkinson & al., 2001), non seulement chez des adultes, mais aussi chez des enfants de 6 à 10 ans : de tels effets de contexte n'avaient jusqu'ici pas encore été démontrés chez l'enfant. Nous avons toutefois pu préciser que c'est seulement chez l'adulte que des indices d'une certaine spécialisation de l'hémisphère droit pour l'opération de désélection sont observables, témoignant d'ailleurs ainsi de la particularité de cette opération, dans le contexte d'un processus de changement qui recrute par ailleurs essentiellement des aires cérébrales latéralisées à gauche.

Un autre processus attentionnel relatif à l'articulation des niveaux d'analyse a retenu notre intérêt : l'inhibition de l'information et/ou du mode de traitement associé à un niveau que l'on sait non pertinent pour réaliser une tâche. Ce processus est classiquement étudié à travers les effets d'interférence produits par une information concurrente située à un niveau devant être ignoré dans un stimulus hiérarchisé. Nous avons à ce sujet répliqué chez l'adulte l'asymétrie classique des effets d'interférence, plus négatifs lorsque l'information perturbante est issue du niveau global que du niveau local. De manière plus originale, nous avons ensuite montré que l'enfant s'affranchit progressivement de telles

perturbations, et ceci à des rythmes différents selon le niveau à inhiber : les enfants de 6 à 10 ans sont progressivement moins perturbés par les informations concurrentes présentes au niveau local. Un mécanisme spécialisé, qui se développe pendant une période particulièrement longue, semble se mettre en place pour permettre de s'affranchir d'une telle perturbation. Ce mécanisme devient suffisamment efficace pour donner lieu au phénomène d'asymétrie de l'interférence à partir de 10 ans.

Le dernier chapitre de cette thèse était consacré à une tentative d'utilisation des épreuves que nous avons mises en place, pour mieux comprendre la nature de certaines anomalies de l'organisation cérébrale fonctionnelle et de mécanismes d'attention visuo-spatiale chez des enfants dyslexiques. Il présente pour cela deux expériences. Dans une perspective résolument pluraliste d'explication cognitive de la dyslexie développementale chez l'enfant, nous avons ainsi pu mettre en évidence deux particularités, l'une propre aux enfants atteints d'un type de dyslexie caractérisé par un trouble phonologique majeur, l'autre propre à des enfants ayant des difficultés de lecture aussi invalidantes, mais non associées à un trouble phonologique. Nous montrons que la dyslexie assortie d'un trouble phonologique important s'accompagne d'une dominance hémisphérique anormale pour le traitement des catégories Lettre et Dessin d'objets, témoignant d'une absence de spécificité de la dominance de l'HG pour le traitement du matériel alphabétique. Cela concorde avec l'hypothèse d'un trouble de l'organisation des connaissances phonologiques/linguistiques chez ces jeunes patients. Les enfants dyslexiques sans trouble phonologique ne présentent pas cette particularité, mais s'illustrent quant à eux par un déficit d'attention visuo-spatial très particulier : ils sont perturbés de manière anormalement forte par l'interférence issue d'une information non pertinente relevant des détails. Nous montrons qu'il ne s'agit pas d'un simple retard de développement, mais bien d'une anomalie qui distingue profondément, sur ce point, leur fonctionnement cognitif de celui des autres enfants, y compris plus jeunes. La découverte de ce déficit spécifique, qui relève vraiment de l'attention visuo-spatiale puisqu'il s'exprime tant sur les dessins d'objets que sur les lettres hiérarchisées, est discutée dans le cadre des recherches actuelles sur les déficits visuo-attentionnels dans la dyslexie de surface chez l'enfant. Ce prolongement de notre recherche dans le domaine de la neuropsychologie devrait permettre de contribuer à affiner le diagnostic du type de dyslexie et ouvrir, nous l'espérons, des pistes de rééducation. L'épreuve présentée comme Expérience 8 dans cette recherche est déjà utilisée en ce sens, dans un cadre de recherche, mais aussi dans un cadre clinique.

En somme, les résultats originaux que nous avons obtenus nous incitent à envisager l'étude de certains effets observés chez le sujet sain en utilisant des techniques de recueil de données plus fiables, et surtout plus précises quant à la localisation des régions cérébrales qui sous-tendent les mécanismes impliqués. Par exemple, la compétence particulière de l'HD de jeunes adultes pour le processus de désélection de l'information avant un changement de niveau mériterait d'être confirmée, mais aussi précisée, à l'aide de techniques d'imagerie cérébrale. A l'issue de cette recherche, il apparaît enfin que la mise en place d'épreuves utilisant des stimuli hiérarchisés et recueillant de simples données comportementales peuvent permettre de comprendre certains aspects de mécanismes cognitifs complexes dans le domaine visuel, mais aussi contribuer à préciser

certain diagnostics. Nous espérons que des épreuves du même type, adaptées aux caractéristiques d'autres troubles que la dyslexie, pourront encore contribuer à mieux comprendre quelques déficits associés à certaines pathologies et, dans un contexte clinique, à affiner certains diagnostics ou même envisager des pistes de rééducation.

Références

- Abravanel, E. (1982). Perceiving subjective contours during early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 280-287.
- Adams, R. J., & Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research*, 42, 1205-1210.
- Akhtar, N., & Enns, J. T. (1989). Relations between covert orienting and filtering in the development of visual attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 315-334.
- Akshoomoff, N. A., & Stiles J. (1995a). Developmental trends in visuospatial analysis and planning: II. Memory for a complex figure. *Neuropsychology*, 9, 378-389.
- Akshoomoff, N. A., & Stiles J. (1995b). Developmental trends in visuospatial analysis and planning: Copying a complex figure. *Neuropsychology*, 9, 364-377.
- Akshoomoff, N. A., Feroletto, C. C., Doyle, R. E. and Stiles, J. (2002). The impact of early unilateral brain injury on perceptual organization and visual memory. *Neuropsychologia*, 40, 539-561
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105 (4), 678-723.
- Aram, D. M., & Eisele, J. A. (1994). Limits to the left hemisphere explanation for specific language explanation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 824-830.
- Baciu, M., Koenig, O., Vernier, M.-P., Bedoin, N., Rubin, Ch., & Segebarth, Ch. (1999).

- Categorical and coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *NeuroReport*, 10, 1373-1378.
- Badzakova-Trajkov, G., Hamm, J. P., & Waldie, K. E. (2005). The effects of redundant stimuli on visuospatial processing in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 43, 473-478.
- Bates, E., Reilly, J., Wulfeck, B., Dronkers, N., Opie, M., Fenson, J., Kriz, S., Jeffries, R., Miller, L., & Herbst, K. (2001). Differential effects of unilateral lesions on language production in children and adults. *Brain and Language*, 79 (2), 223-265.
- Baylis, G. C., & Driver, J. (1992). Visual parsing and response competition: The effect of grouping factors. *Perception and Psychophysics*, 51 (2), 145-162.
- Beaumont, J. G. (1982). *Divided visual field studies of cerebral organization*. New-York : Academic Press.
- Beck, J. (1966). Effect of orientation and shape similarity on perceptual grouping. *Perception and Psychophysics*, 1, 300-302.
- Bednarek, D. B., Saldana, D., Quintero-Gallego, E., Garcia, I., Grabowska, A., & Gomez, C. M. (2004). Attentional deficit in dyslexia: A general or specific impairment ? *Neuroreport*, 15 (11), 1787-1790.
- Bedoin, N. (2003). Sensitivity to voicing similarity in printed stimuli: Effect of a training programme in dyslexic children. *Journal of Phonetics*, 31 (3-4), 541-546.
- Bedoin, N., Herbillon, V., Lamoury, I., Arthaud-Garde, P., Ostrowky, K., De Bellescize, J., Kéo Kosal, P., Damon, G., & Rousselle, Ch. (2006). Hemispheric lateralization of cognitive functions in children with centrotemporal spikes. *Epilepsy and Behavior*, 9, 268-274.
- Bedoin, N., Lévy-Sebbag, H., & Kéïta, L. (2005). *Distinct cognitive impairments for hierarchical letters and hierarchical objects processing in phonological and surface developmental dyslexia*. Poster presented at the XIIIth Conference of the European Society of Cognitive Psychology (ESCOP 13). Leiden : Holland.
- Bedson, T., & Turnbull, O. H. (2002). Hemispheric asymmetry for global local processing : language is less important than one might think. *Brain and Cognition*, 48 (2-3), 272-277.
- Behrmann, M., Avidan, G., Leonard, G. L., Kimchi, R., Luna, B., Humphreys, K., & Minshew, N. (2006). Configural processing in autism and its relationship to face processing. *Neuropsychologia*, 44, 110-129.
- Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently : Visual processing in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 10 (6), 258-264.
- Bell, J., Badcock, D. R., Wilson, H., & Wilkinson, F. (2007, à paraître). Detection of shape in radial frequency contours: Independence of local and global form information. *Vision Research*
- Benoit-Dubrocard, S., & Touche, M. E. (1993). Letters as spatial-oriented shapes and/or graphemic signs: A developmental study of left- and right-handed girls during the period of learning to read. *Brain and Language*, 44, 385-399.
- Berent, I., & Perfetti, C. A. (1995). A Rose is REEZ: The two-cycles model of phonology assembly in reading English. *Psychological Review*, 102, 146-184.

- Bertoncini, J., Bijeljac-Babic, R., Peretz, I., & Mehler, J. (1989). Dichotic perception of laterality in neonates. *Brain Language*, 37, 591-605.
- Best, C. T., Hoffman, H., & Glanville, B. B. (1982). Development in infant ear asymmetries for speech and music. *Perception Psychophysics*, 31, 75-85.
- Bisiach, E., Luzzatti, C., Perani, D. (1981). Brain representation of outside reality. *Neuropsychologia*, 19 (4), 543-551.
- Friedrich, F. J., Walker, J., Posner, M. I. (1985). Effects of parietal lesions on visual matching. *Cognitive Neuropsychology*, 2, 253-264.
- Blair, R. J. R., Frith, U., Smith, N., Abell, F., & Cipolotti, L. (2002). Fractionation of visual memory: Agency detection and its impairment in autism. *Neuropsychologia*, 40, 108-118.
- Blanca, M.J., & Alarçon, R. (2002). Hemispheric differences in global and local processing with orientation classification tasks. *Neuropsychologia*, 40, 957-963.
- Blanca, M. J., Luna, R., Lopez-Montiel, D., Zalabardo, C., & Rando, B. (2002). Effect of the similarity between target and global and local levels in hierarchical stimuli processing. *Psychological Research*, 66, 124-132.
- Blanca, M.J., Zalabardo, C., Garcia-Criado, R., & Siles R. (1994). Hemispheric differences in global and local processing depend of exposure duration. *Neuropsychologia*, 32, 1343-1351.
- Boder, E. (1973). Developmental dyslexia: A diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 15, 663-687.
- Boer, L. C., & Keuss, P. J. G. (1982). Global precedence as a postperceptual effect: An analysis of speed-accuracy trade off functions. *Perception & Psychophysics*, 31, 358-366.
- Boeschoten, M. A., Kemner, C., Kenemans, J. L., & van Engeland, H. (2005). The relationship between local and global processing and the processing of high and low frequencies studied by event-related potentials and source modeling. *Cognitive Brain Research*, 24, 228-236.
- Bogen, J. E., & Gazzaniga, M. S., (1965). Cerebral commissurectomy in man: Minor hemisphere dominance for certain visuo-spatial functions. *Journal of Neurosurgery*, 23, 394-399.
- Boles, D.B. (1984). Global versus local processing: Is there a hemispheric dichotomy ? *Neuropsychologia*, 22, 445-455.
- Boles, D.B., & Karner, T.A. (1996). Hemispheric differences in global versus local processing: Still unclear. *Brain and Cognition*, 30, 232- 243.
- Booth, J. R., Burnman, D. D., Meyer, J. R., Trommer, B. L., Davenport, N. D., Parrish, T. B., Gitelman, D. R., & Mesulam, M. M. (2003). Neural development of selective attention and response inhibition. *NeuroImage*, 20, 737-751.
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2003). Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters*, 1.
- Bosse, M.-L., Tainturier, M.-J., & Valdois, S. (2006). Developmental dyslexia : The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 19.

- Boucart, M., & Humphreys, G.W. (1992). Global shape cannot be attended without object identification. *Journal of Experimental Psychology : Human perception and Performance*, 18, 785–806.
- Boucart, M., & Humphreys, G. W. (1994). Attention to orientation, size, luminance and colour: Attentional failure within the form domain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 61–80.
- Boucart, M., & Humphreys, G. W. (1997). Integration of physical and semantic information in object processing. *Perception*, 26, 1197–1209.
- Breitmeyer, B.G. (1975). Simple reaction time as a measure of the temporal response properties of transient and sustained channels. *Vision Research*, 15, 1411-1412.
- Brodeur, D. A. (2004). Age changes in attention control: Assessing the role of stimulus contingencies. *Cognitive Development*, 19, 241-252.
- Broman, M. (1978). Reaction-time differences between the left and right hemispheres for face and letter discrimination in children and adults. *Cortex*, 14, 578-591.
- Brosnan, M. J., Scott, F. J., Fox, S., & Pye, J. (2004). Gestalt processing in autism: Failure to process perceptual relationships and the implications for contextual understanding. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45 (3), 459-469.
- Brown, A. M., Adusumilli, V., & Lindsey, D. T. (2005). Detection of vernier and contrast-modulated stimuli with equal Fourier energy spectra by infants and adults. *Journal of Vision*, 5 (3), 230-243,
- Brown, H. D., & Kosslyn, M. S. (1994). Hemispheric differences in visual object processing : structural versus allocation theory. In R. J., Davidson and K. Hugdahl (Eds.). *Brain Asymetry*. Cambridge : The MIT Press.
- Bruck, M., & Treiman, M. (1990). Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: The case of initial consonant clusters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 50, 156-178.
- Brunswick, E., & Kamiya, J. (1953). Ecological cue validity of 'proximity' and other Gestalt factors. *American Journal of Psychology*, 66, 20-32.
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics : A search for Wernicke's Wortschatz ? *Brain*, 122, 1901-1917.
- Bruyer, R. & Scailquin, J-C, & Samson, D. (2003). Aging and the locus of the global precedence effect: a short review and new empirical data. *Experimental Aging Research*, 29, 237-268.
- Burack, J.A., Enns, J.T., Iarocci, G., & Randolph, B. (2000). Age differences in visual search for compound patterns: Long- versus short-range grouping. *Developmental Psychology*, 36, 731–740.
- Camus, J. F. (2003). Neuropsychologie de l'attention : l'apport des réseaux attentionnels neurocérébraux. *Revue de Neuropsychologie*, 8 (1), 25 - 51.
- Casco, C., & Prunetti, E. (1996). Visual search of good and poor readers: Effects with targets having single and combined features. *Perceptual and Motor Skills*, 82, 1155-1167..
- Casco, C., Tressoldi, P. E., & Dellantonio, A. (1998). Visual selective attention and

- reading efficiency are related in children. *Cortex*, 34 (4), 531-546.
- Casey, B. J., Castellanos, F. X., Giedd, J. N., Marsh, W. L., Hamburger, S. D., Schubert, A. B., Vauss, Y. C., Vaituzis, A. C., Dickstein, D. P., Sarfatti, S. E., & Rapoport, J. K. (1997). Implication of right frontostriatal circuitry in response inhibition and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of of Children and Adolescent Psychiatry*, 36 (3), 374-383.
- Cassia, V. M., Simion, F., Milani, I., & Umiltà, C. (2002). Dominance of global visual properties at birth. *Journal of Experimental Psychology : General*, 131 (3), 398-411.
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, 225-271.
- Chiarello, C. (1988). Lateralization of lexical process in the normal brain: A review of visual half-field research. In H. A. Whitaker (Eds.). *Contemporary reviews in neuropsychology* (pp. 36-76). New-York: Springer-Verlag.
- Chiarello, C., Senehi, J., & Soulier, M (1986). Viewing conditions and hemisphere asymmetry for the lexical decision. *Neuropsychologia*, 24 (4), 521-529.
- Chiron, C., Jambaque, I., Nabbout, Lounes, R., Syrota, A., & Dulac, O. (1997). The right brain hemisphere is dominant in human infants. *Brain*, 120, 1057-1065.
- Christman, S. (1990). Effects of luminance and blur on hemispheric asymmetries in temporal integration. *Neuropsychologia*, 28 (4), 361-374.
- Christman, S., Kitterle, F.L., & Hellige, J. (1991). Hemispheric asymmetry in the processing of absolute versus relative spatial frequency. *Brain and Cognition*, 16(1), 62-73.
- Cohen, A., & Ivry, R. B. (1990). Illusory conjunctions as a function of distance between objects inside and outside the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 317-331.
- Cohen, J. D., Mac Whinne.,B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). PsyScope: A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Methods, Instruments, and Computers*, 25 (2), 257-271.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chokhon. F., Lemer, C. Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex ? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, 125, 1054-1069.
- Cohen, L. B. (1995). An information processing approach to infant perception and cognition. In G. Butterworth and F. Simion (Eds.), *Development of sensory, motor, and cognitive capacities in early infancy : From sensation to cognition*. Sussex: Erlbaum (UK).
- Cohen, L. B., & Younger, B. A. (1984). Infant perception of angular relations. *Infant Behavior and Development*, 7, 37-47.
- Colombo, I., Mitchell, D. W., Coldren, I. T., & Freesean, L. I. (1991). Individual differences in infant visual attention: Are short lookers feature processors or faster processors ? *Child Development*, 62, 1247-1257.
- Colombo, J., Freesean, L. J., Coldren, J. T., & Frick, J. E. (1995). Individual differences in infant fixation duration: Dominance of global versus local stimulus properties. *Cognitive Development*, 10 (2), 271-285.

- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing* (pp. 151-216). New-York : Academic Press.
- Coltheart, M. (1981). Disorders of reading and their implications for models of normal reading. *Visible Language*, 15, 245-286.
- Coltheart, M., Masterson, J., Byng, S., Prior, M., & Riddoch, J. (1983). Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35, 469-495.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC : A dual route cascaded model of visual recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204-256.
- Corbalis, M.C. (1991). *The lop-sided ape: Evolution of the generative mind*. New York :Oxford University Press.
- Corbalis, M.C. (2002). Hemispheric interactions in simple reaction time. *Neuropsychologia*, 40, 423-434.
- Corballis, P. M. (2003). Visuo-spatial processing and the right-hemisphere interpreter. *Brain and Cognition*, 53, 171-176.
- Corballis, P. M., Funnell M. G., & Gazzaniga, M. S. (1999). A dissociation between spatial and identity matching in callosotomy patients. *Neuroreport*, 10, 2183-2187.
- Corballis, P. M., Funnell M. G., & Gazzaniga, M. S. (2002). Hemispheric asymmetry for simple visual judgments in the split brain. *Neuropsychologia*, 40, 401-410.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H.A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Van Essen, D. C., Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron* 21, 761-773.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Dobmeyer, S., Shulman, G. L, Petersen, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*, 11, 2383-2402.
- Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802-5.
- Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Sein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research*, 35, 1483-1494.
- Coull, J. T., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1998). Monitoring for target objects: Activation of right frontal and parietal cortices with increasing time on task. *Neuropsychologia*, 36 (12), 1325-1334.
- Courage, M. L, Adams, R. J. (1990). Visual acuity assessment from birth to three years using the acuity card procedure: cross-sectional and longitudinal samples. *Optometry Vision Sciences* 67, 713-718.
- Davidoff, J. B., & Done, D. J. (1984). A longitudinal study of the development of visual field advantage for letter matching. *Neuropsychologia*, 22 (3), 311-318.
- Davidson, R. J., & Saron, C. D. (1992). Reaction time measures of interhemispheric transfer time in reading disabled and normal boys. *Developmental Neuropsychology*,

8, 261-277.

- Deason, R. G., & Marsolek, C. J. (2005). A critical boundary to the left-hemisphere advantage in visual word processing. *Brain and Language*, 92, 251-261.
- Dehaene, S., Le Clec', H., G., Poline, J-B., Lihan, D. & Cohen, L. (2002) The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroport*, 13 (34), 321-325.
- Dehaene-Lambertz, G. (2005). Bases cérébrales de l'acquisition du langage : apport de la neuro-imagerie. In C. Hommet, I. Jambaqué, C. Billard, P. Gillet (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement* (pp. 59-72). Solal : Marseille.
- Dehaene-Lambertz, G., Pena, M., Christophe, A., & Landrieu, P. (2004). Phonetic processing in a neonate with a left sylvian infarct. *Brain and Language*, 88, 26-38.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., & Kiefner, M. G. (1988). Visuospatial functioning before and after commissurotomy. Disconnection in hierarchical processing. *Archives of Neurology*, 45 (4), 462-465.
- Delis, D.C., Robertson, L.C., & Efron, R. (1986). Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli. *Neuropsychologia*, 24, 205-214.
- De Lillo, C., Spinozzi, G., Truppa, V., & Naylor, D. M. (2005). Comparative analysis of global and local processing of hierarchical visual stimuli in young children (*Homo sapiens*) and monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, 119 (2), 155-165.
- Démonet, J.-F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *Lancet*, 363, 1451-1460.
- Deruelle C., & Fagot J. (1997). Hemispheric Lateralisation and Global Precedence Effects in the Processing of Visual Stimuli by Humans and Baboons (*Papio papio*). *Brain and Cognition*, 2 (3), 233-246.
- Deruelle, C., & De Schonen, S. (1991). Hemispheric asymmetries in visual pattern processing in infancy. *Brain and Cognition*, 16, 151-179.
- Deruelle, C., De Schonen, S. (1995). Pattern processing in infancy: Hemispheric differences in the processing of shape and location of visual components. *Infant Behavior and Development*, 18, 123-132.
- Deruelle, C., Mancini, J., Livet, M. O., Cassé Perrot, C., & de Schonen, S. (1999). Configural and local processing of faces in children with Williams syndrome. *Brain and Cognition*, 41, 276-298.
- Deruelle, C., & Rondan, C. (2004). A look into configural perceptual abilities in children with autism. *Cognition, Brain, Behavior, Special Issue : Typical and Atypical Development*, 397-408.
- Deruelle, C., Rondan, C., Gepner, B., & Fagot, J. (in press). Processing of compound visual stimuli by children with autism and Asperger syndrome. *International Journal of Psychology*.
- Deruelle, C., Rondan, C., & Livet, M. O. (2006). « Do children with williams syndrome fail to process configural visual information ? ». *Research in developmental Disabilities*, 27, 243-253.

- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 353, 1245-1255.
- Desolneux, A., Moisan, L., & Morel, J.-M. (2003). Computational gestalts and perception thresholds. *Journal of Physiology*, 97, 311-324.
- De Valois, R., & De Valois, K. (1988). *Spatial vision*. New York: Oxford University Press.
- Diab, M-A. (2005). Etude du switching et du désengagement chez les patients schizophrènes. Mémoire réalisé sous la direction de N. Bedoin, pour l'obtention du Master 1 en Humanité et Sciences Humaines, Mention Sciences Cognitives, Spécialité Recherche, Université Lyon 2.
- Dove A., Pollman S., Schubert, T, Wiggins C. J., von Cramon, D. Y. (2000). Prefrontal cortex activation in task switching: An event-related fMRI study. *Cognitive Brain Research* 9, 103–110.
- Doyon, J., & Milner, B. (1991). Right temporal-lobe contribution to global visual processing. *Neuropsychologia*, 29 (5), 343-360.
- Driver, J., Davis, G., Russell, C., Turatto, M., & Freeman, E. (2001). Segmentation, attention and phenomenal visual objects. *Cognition*, 80, 61-95.
- Driver, J., McLeod, P., & Dienes, Z. (1992). Motion coherence and conjunction search: Implications for guided search theory. *Perception and Psychophysics*, 51 (1), 79-85.
- Duara, R., Kushch, A., Gross-Glenn, K., Barker, W. W., Jallad, B., Pascal, S. (1991). Neuroanatomic differences between dyslexic and normal readers on magnetic resonance imaging scans. *Archives of Neurology*, 48, 410-416.
- Dukette, D., & Stiles, J. (1996). Children's analysis of hierarchical patterns : Evidence from a similarity judgment task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63, 103-140.
- Dukette, D., & Stiles, J. (2001). The effects of stimulus density on children's analysis of hierarchical patterns. *Developmental Science*, 4, 233–251.
- Duncan, J. (1995). Target and nontarget grouping in visual search. *Perception and Psychophysics*, 56 (1), 117-120.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1992). Beyond the search surface: Visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 18, 578-588.
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Ulug, A. M., Zimmerman, R., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, 5(4), 9-16.
- Ecalte, J., & Magnan, A. (2002). *L'apprentissage de la lecture: Fonctionnement et développement cognitif*. Paris : Armand Colin.
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Wilke, M., Eckert, M., Richards, T., Richards, A., & Berninger, V. (2005). Anatomical signatures of dyslexia in children: Unique information from manual and voxel based morphometry brain measures. *Cortex*, 41 (3), 304-315.

- Eden, G. F., Stein, J. F., Wood, M. H., & Wood, F. B. (1995). Verbal and visual problems in reading disability. *Journal of Verbal Learning Disability*, 29(1), 4-6.
- Eden, G. F., Van Mater, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P., & Zeffiro, T. A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382, 66-60.
- Edgar, J. C., Yeo, R. A., Gangestad, S. W., Blake, M. B., Davis, J. T., Lewine, J. D., & Canive, J. M. (2006). Reduced auditory M100 asymmetry in schizophrenia and dyslexia: applying a developmental instability approach to assess atypical brain asymmetry *Neuropsychologia*, 44 (2), 289-299.
- Elder, J., & Zucker, S. (1993). The effect of contour closure on the rapid discrimination of two-dimensional shapes. *Vision Research*, 33 (7), 981-991.
- Eng, T.L., & Hellige, J. B. (1994). Hemispheric asymmetry for processing unpronounceable and pronounceable letter trigrams. *Brain and Language*, 46, 517-535.
- Enns, J. T., Burack, J. A., Iarocci, G., & Randolph, B. (2000). The orthogenetic principle in the perception of « forests » and « trees ». *Journal of Adult Development*, 7 (1), 41-48.
- Enns J. T., & Cameron, S. (1987). Selective attention in young children: The relation between visual search, filtering, and priming. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44, 38 - 63.
- Enns, J. T., & Girgus, J. S. (1985). Developmental changes in selective and integrative visual attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40, 319-337.
- Enns, J. T., & Kingstone, A. (1995). Access to global and local properties in visual search for compound stimuli. *Psychological Science*, 6 (5), 283-291.
- Enns, J. T., & Trick, L. M. (in press). A framework for studying age-related change and individual variation in selective attention.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- Eriksen, C. W., & St. James, J.D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception and Psychophysics*, 40, 225-240.
- Eustache, F., & Faure, S. (2000). *Manuel de Neuropsychologie*. Paris: Dunod
- Evans, M.A., Shedden, J.M., Hevenor, S.J., & Hahn, M.C. (2000). The effect of variability of unattended information on global and local processing: Evidence for lateralization at early stages of processing. *Neuropsychologia*, 38(3), 225-239.
- Evert, D. L., & Kmen, M. (2003). Hemispheric asymmetries for global and local processing as a function of stimulus exposure duration. *Brain and Cognition*, 51,115–142.
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Cattaneo, C., Galli, R., Umiltà, C., & Mascetti, G. G. (2003a). Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive Brain Research*, 16, 185-191.
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Umiltà, C., & Mascetti, G. G. (2003b). The role of visuo-spatial attention in developmental dyslexia: Evidence from a rehabilitation study. *Cognitive Brain Research*, 15, 154-164.

- Facoetti, A., Paganone, P., & Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research*, 132 (4), 531-538.
- Facoetti, A., Paganoni, P., Turatto, M., Marzola, V. & Mascetti, G. G. (2000). Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex*, 36 (1), 109-123.
- Facoetti, A., & Turatto, M. (2000). Asymmetrical visual fields distribution of attention in dyslexic children: A neuropsychological study. *Neuroscience Letter*, 290, 216-218.
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L., & Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia :Evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research*, 138 (1), 46-53.
- Fagot, J., Deruelle, C. (1997). Processing of global and local visual information and hemispheric specialization in humans (*Homo sapiens*) and baboons (*Papio papio*). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23 (2), 429-442.
- Fagot, J., & Tomonaga, M. (1999). Global and local processing in humans (*Homo-Sapiens*) and chimpanzees (*Pan Troglodytes*): use of a visual search task with compound stimuli. *Journal of comparative psychology* 113, (1), 3-12.
- Fantz, R. L. (1961). The origin of form perception. *Scientific American*, 204, 66-72.
- Farah, M. J., Hammond, K. M., Mehta, Z., & Ratcliff, G. (1989). Category-specificity and modality-specificity in semantic memory. *Neuropsychologia*, 27, 461-470.
- Fawcett, A. J. (2002). Dyslexia, the cerebellum and phonological skill. In E. Witruk, A. D., Friederici, & T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading, and reading disability* (pp. 265-279). Kluwer Academic Publishers.
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I., & Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46, 259-283.
- Fayasse, M., & Thibaut, J.-P. (2002) Local and global processing by persons with Williams syndrome: The case of visuo-constructive tasks. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 2, 266-282.
- Fayasse, M., & Thibaut, J.-P. (2003). Les troubles visuo-constructifs dans le syndrome de Williams. *L'Année Psychologique*, 104, 695-727.
- Federmeier, K. D. (1997). *Perceiving a new category : The Neurobiological Basis of Perceptual Categorization*. Technical report Cognitive sciences. UCSD –97.05, Department of Cognitive Science, UCSD, San Diego CA, 920993-0515.
- Feeney, S. M., & Stiles, J. (1996). Spatial analysis: An examination of preschoolers' perception and construction of geometric patterns. *Developmental Psychology*, 32 (5), 933-941.
- Feldman, J. (2000). Bias toward regular form in mental shape spaces. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 26, 152-165.
- Fiebach, C.J., Friederici, A.D., Muller, K., & Von Cramon, D.Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, (1), 11-23.
- Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E., & Petersen, S. E. (1999). Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading. *Neuron*, 24 (1), 205-218.

- Filoteo, J. V., Delis, D. C., Dematura, T. L., Salmon, D.P., Roman, M. J., & Shults, C. (1994). Abnormally rapid disengagement of covert attention to global and local stimulus levels may underlie the visual-perceptual impairment in patients with parkinson's disease. *Neuropsychology*, 8, 218-226.
- Filoteo, J. V., Delis, D. C., Massman, P. J., Dematura, T. L., Butters, N., & Salomon, D. P. (1992). Directed and divided attention in alzheimer's disease : Impairment in shiftingof attention to global and local stimuli. *Journal of clinical and Experimental Psychology*, 14, 871-883.
- Filoteo, J. V., Delis, D. C., Roman, M. J., Dematura, T. L, Ford, E., Butters, N., Butters, N., Salomon, D. P., Paulsen, J., Shults, C. W., Swenson, M., & Swerdlow, N. (1995). Visual attention and perception in patients with huntington's disease: Comparisons with other subcortical and cortical dementias. *Journal of clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 654-667.
- Filoteo, J. V., Delis, D. C., Salomon, D. P., Dematura, T. L, Roman, M. J., & Shults, C. W. (1997). An examination of the nature of attention deficits in patients with parkinson's disease : Evidence from a spatial orienting task. *Journal of clinical and Experimental Neuropsychology*, 3, 337-347.
- Filoteo, J. V., Friedrich, F. J., & Stricker, J. L. (2001). Shifting attention to different levels within global-local stimuli: A study of normal participants and a patient with temporal-parietal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology*, 18 (3), 227-261.
- Fink, G. R., Marshall, J. C., Halligan, P. W., & Dolan R. J. (1999). Hemispheric asymmetries in global/local processing are modulated by perceptual salience. *Neuropsychologia*, 37, 31-40.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees ? *Nature*, 382, 626-628.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1997a). Neural mechanisms involved in the processing of global and local aspect of hierarchical organized visual stimuli. *Brain*, 120, 1779-1791.
- Fink, G.R., Marshall, J.C., Halligan, P.W., Frith, C.D., Frackowiak, R.S.J., & Dolan, R.J. (1997b). Hemispheric specialization for global and local processing: The effect of stimulus category. *Proceedings of the Royal Society of London*, 264, 487-494.
- Flowers, D. L., Jones, K., Noble, K., vanMeter, J., Zeffiro, T. A., Wood, F. B., & Eden, G. F. (2004). Attention to single letters activates left extrastriate cortex. *NeuroImage*, 21, 829-839.
- Fowler, M. S., Riddell, P. M., & Stein, J. F. (1990). Vergence eye movement control and spatial discrimination in normal and dyslexic children. In G. P. pavlidis (Eds.), *Perceptives on dyslexia*, London : Wiley.
- Freeseaman, L. I., Colombo, I., & Coldren, I. T. (1993). Individual differences in infant visual attention: Discrimination and generalization of local and global properties at 4 months of age. *Child Development*, 64, 1191-1203.
- Frick, J. E., Colombo, J., & Allen, J. R. (2000). Temporal sequence of global-local processing in 3-month-old infants. *Infancy*, 1 (3), 375-386.
- Frick, I. E., Colombo, J., & Saxon, T. F. (1999). Individual and developmental

- differences in disengagement of motion in early infancy. *Child Development*, 70, 537-548.
- Frith, U. (1989). *Autism : Explaining and enigma*. Oxford : Basil Blackwell.
- Frith, U. & Happé, F. (1994). Autism: "Beyond theory of mind". *Cognition*, 50, 115-132.
- Frost, R. (1998). Toward a strong phonological theory of visual word recognition: True issues and false trails. *Psychological Bulletin*, 123 (1), 71-99.
- Funnell, M. G., Corballis, P. M., & Gazzaniga, M. S. (1999). A deficit in perceptual matching in the left hemisphere of a callosotomy patient. *Neuropsychologia*, 37, 1143-1154.
- Fuson, K. (1988). *Children counting and concepts of number*. New York: Springer-Verlag.
- Gaillard, R., Naccache, L., Pinel, P., Clémenceau, S., Volle, E., Hasboun, D., Dupont, S., Baulac, M., Dehaene, S., Adam, C., & Cohen, L. (2006). Direct intracranial, fMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading. *Neuron*, 50, 191-204.
- Gaillard, W., Hertz-Pannier, L., Mott, S., Barnett, A., LeBihan, D., & Theodore, W. (1999). Functional anatomy of cognitive development : fMRI of verbal fluence in children and adults. *Neurology*, 54, 180-185.
- Galaburda, A. M. (2002). Anatomy of the temporal processing deficit in developmental dyslexia. In E. Witruk, A. D., Friederici, & T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading, and reading disability* (pp. 241-250). Kluwer Academic Publishers.
- Galaburda, A. M., & Kemper, T. L (1979). Cytoarchitectonic abnormalities in developmental dyslexia : A case study. *Annals of Neurology*, 6, 94-100.
- Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences – USA*, 91 (7), 8010-8013.
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233.
- Garavan, H., Ros, T. J., & Stein, E. A. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: An event-related functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 96, 8301-8306.
- Garrett, A. S., Flower, D. L., Absher, J. R., Fahey, F. H., Gage, H. D., Keyes, J. W., Porrino, L. J., & Wood, F. B. (2000). Cortical activity related to accuracy of letter recognition. *NeuroImage*, 11, 111-123.
- Gasper, K., & Clore, G.L. (2002). Attending to the big picture: mood and global versus local processing of visual information. *Psychological Sciences*, 13 (1), 34-40.
- Gazzaniga, M. S. (1970). *The bisected brain*. New York : Appleton-Century-Crofts.
- Gazzaniga, M.S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication. Does the corpus callosum enable the human condition ? *Brain*, 123, 1293-1326.
- Gazzaniga, M. S., Bogen, J. E., & Sperry, R. W. (1996a). Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man. *Proceedings of the national academy of*

- science of the USA*, 48,1765-1769.
- Gazzaniga, M. S., Bogen, J. E., & Sperry, R. W. (1996b). Observations on visual perception after disconnection of the cerebral hemispheres in man. *Brain*, 88, 221-236.
- Gehring, W. J., & Knight, R. T. (2002). Lateral prefrontal damage affects processing selection but not attention switching. *Cognitive Brain Research*, 13, 262-279.
- Geiger, G., & Lettvin, J. Y. (1997). A view on dyslexia. *Report N°1608, Paper 148*, of the Massachusetts Institute of Technology and Artificial Intelligence Laboratory.
- Geiger, G., & Lettvin, J. Y. (2000). Developmental dyslexia : A different perceptual strategy and how to learn a new strategy for reading. *Child Development and Disabilities*, 26, 73-89.
- Geiger, G., Lettvin, J. Y., & Fahle, M. (1994). Dyslexic children learn a new visual strategy for reading : A controlled experiment. *Vision Research*, 34 (9), 1223-1233.
- Genard, N., Mousty, P., Content, A., Alegria, J., Leybaert, J., & Morais, J. (1998). Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. In P. Reistma & L. Verhoeven (Eds.), *Problems and interventions in literacy development* (pp. 163-176). Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Press.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Hopf, J.-M., Glauche, V., Kaiser, W.-A., & Blanz, B. (1999). fMRI during processing in dyslexic and normal reading children. *Neuroreport*, 10, 3459-3465.
- Georgiou-Karistianis, N., Tang, J., Mehmedbegovic, F., Farrow, M., Bradshaw, J., & Sheppard, D. Age-related differences in cognitive function using a global local hierarchical paradigm. *Brain Research*, 1124, 86-95.
- Gerhardstein, P., Kovacs, I., Ditre, J., & Feher, A. (2004). Detection contour continuity and closure in three-months olds. *Vision research*, 44, 2981-2988.
- Ghim, H. R. (1990). Evidence for perceptual organization in infants: Perception of subjective contours by young infants. *Infant Behavior & Development*, 13, 221-248.
- Ghim, H.-R., & Eimas, P. (1988). Global and local processing by 3- and 4-month-old infants. *Perception & Psychophysics*, 43,165-171.
- Gombert, J.-E. (1990). *Le développement des capacités métalinguistiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gombert, J. E. (2003). Implicit and explicit learning to read: Implication as for subtypes of dyslexia. *Current Psychology Letters*, 10 (1), <http://cpl.revues.org/document202.html>
- Grabowska, A., & Nowicka, A. (1996). Visual-Spatial-Frequency Model of Cerebral Asymmetry: A Critical Survey of Behavioral and Electrophysiological Studies. *Psychological Bulletin*, 120, (3). 434-449
- Grabowska, A., Semenza, C., Denes, G., Testa, S. (1989). Impaired grating discrimination following right hemisphere damage. *Neuropsychologia* 27 (2), 259-264
- Grice, R. G., Canham, L., Boroughs, J. (1983). Forest before the trees ? It depends where you look. *Perception and Psychophysics*, 33, 121-128.
- Gurd JM, Weiss PH, Amunts K, & Fink GR (2003). Within-task switching in the verbal domain. *Neuroimage* 20, 50-57

- Guttorm, T. K., Leppanen, P. H., Poikkeus, A. M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 41 (3), 291-303.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia : an overview and hypothesis. *Brain*, 123, 2373-2399.
- Hadad, B., & Kimchi, R. (2006, in press). Developmental trends in utilizing perceptual closure for grouping of shape: Effects of spatial proximity and collinearity. *Perception and Psychophysics*, 68(8), 1264-1273.
- Han, S. (2004). Interactions between proximity and similarity grouping : An event-related brain potential study in humans. *Neuroscience Letters*, 367, 40-43.
- Han, S., Ding, Y., & Song, Y. (2002). Neural mechanisms of perceptual grouping in humans as revealed by high density event related potentials. *Neuroscience Letters*, 319, 29-32.
- Han S, Fan. S, Chen, L., & Zhuo, Y. (1997). On the different processing of wholes and parts: A psychophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9 (5), 686-697.
- Han, S., He, X., & Woods, D. L. (2000). Hierarchical processing and level-repetition effect as indexed by early brain potentials. *Psychophysiology*, 37 (6), 817-830
- Han, S., He, X., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2001). Attentional selection in the processing of hierarchical patterns: an ERP study. *Biological Psychology*, 56, 113–130.
- Han, S., & Humphreys, G. W. (1999). Interactions between perceptual organization based on Gestalt laws and those based on hierarchical processing. *Perception and Psychophysics*, 61, 1287-1298.
- Han, S., Humphreys, G. W., & Chen, L. (1999a). Parallel and competitive processes in hierarchical analysis: Perceptual grouping and encoding of closure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1411-1432.
- Han, S., Humphreys, G. W., & Chen, L. (1999b). Uniform connectedness and classical Gestalt principles of perceptual grouping. *Perception and Psychophysics*, 61 (4), 661-674.
- Han, S., & Humphreys, G. W. (2002). Segmentation and selection contribute to local processing in hierarchical analysis. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55, 5-21.
- Han, S., & Jiang, Y. (2006). Neural correlates of within-level and across-level attention to multiple compound stimuli. *Brain Research*, 1076, 193-197.
- Han, S., Song, Y., Ding, Y., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2001b). Neural substrates for visual perceptual grouping in humans. *Psychophysiology*, 38, 926-935.
- Han, S., Weaver, J. A., Murray, S. O., Yund, W., & Woods, D. L. (2002). Hemispheric asymmetry in global/local processing: Effects of stimulus position and spatial frequency. *NeuroImage* 17, 1290–1299.
- Han, S., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2003). An ERP study of the global precedence effect: the role of spatial frequency. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1850–1865.

- Happé, F., Briskman, J., & Frith, U. (2001). Exploring the cognitive phenotype of autism: Weak central coherence in parents and siblings of children with autism : I Experimental tests. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42, 299-307.
- Hardyck, C. (1991). Shadow and substance: Attention irrelevancies and perceptual constraints in the hemispheric processing of language stimuli. In F. L. Kitterle (Eds.), *Cerebral laterality: Theory and research*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Hari, R., & Koivikko, H. (1999). Left-side mini-neglect and attentionals sluggishness in dyslexic adult. *Society of Neuroscience Abstract*, 25, 1634.
- Heiervang, E., & Hugdahl, K. (2003). Impaired visual attention in children with dyslexia. *Journal of Learning Disability*, 36 (1), 68-73.
- Heiervang, E., Hugdahl, K., Steinmetz, H., Inge Smievoll, A., Stevenson, J., Lund, A., Ersland, L., & Lundervold, A. (2000). Planum temporale, planum parietale and dichotic listening in dyslexia. *Neuropsychologia*, 38 (13), 1704-1713.
- Heinze, H.J., Hinrichs, H., Scholz, M., Burchert, W., & Mangun, G.R. (1998). Neural mechanisms of global and local processing: A combined PET and ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10 (4), 485–498.
- Heinze, H. J., Johannes, S., Münte, T. F., Mangun, G. R. (1994). The order of global- and local-level information processing: electrophysiological evidence for parallel perceptual processes. In H. J. Heinze, T. F. Münte & G. R. Mangun (Eds.), *Cognitive Electrophysiology: Event-related Brain Potentials in Basic and Clinical Research* (pp. 102–123). Boston: Birkhauser.
- Heinze, H.J., & Munte, T.F. (1993). Electrophysiological correlates of hierarchical stimulus processing: Dissociation between onset and later stages of global and local target processing. *Neuropsychologia*, 31 (8), 841-852.
- Hellige, J.B. (1993). *Hemispheric Asymetry: what's right and what's left*. Cambridge : Havard University Press.
- Hellige, J.B. (1996). Divided visual field techniques. In J.G. Beaumont, P.M. Knealy & M.J.C. Rogers (eds). *The blackwell dictionary of neuropsychology*. Cambridge MA : Blackwell.
- Hellige, J.B., & Michimata, C. (1989). Categorisation versus distance: Hemispheric differences for processing spatial information. *Memory and cognition*, 17, 770-776.
- Hellige, J.B., & Scott, G.B. (1997). Effects of outpout order on hemispheric asymmetry for processing letter trigrams. *Brain and Language*, 59 (3), 523-530.
- Herbillon, V. (2001). Approche pluraliste des origines cognitives de la dyslexie développementale : rôle des processus phonologiques et visuo-attentionnels. Mémoire réalisé sous la direction de Sylviane Valdois pour le DEA de Psychologie Cognitive, Université Lyon 2.
- Hibi, Y., Takeda, Y., & Yagi, A. (2002). Global interference: The effect of exposure duration that is substituted for spatial frequency. *Perception*, 31, 341-348.
- Hillstrom, A. P., & Yantis, S. (1994). Visual motion and attentional capture. *Perception and Psychophysics*, 55, 399-411.
- Hobson, R. P., Ouston, J., & Lee, A. (1988). What's in a face ? The case of autism. *British Journal of Psychology*, 79, 441-453.

- Hochberg, J. (1981). Levels of perceptual organization. In M. Kubovy, & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual Organization* (pp. 255-278). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hoffman, J. (1996). *Visual object recognition*. In Handbook of Perception and Action : Volume 1 (pp. 297-344). Academic Press.
- Hoffman, J. E. (1980). Interaction between global and local levels of a form. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 222-234.
- Hommel, B. (1994). Effects of irrelevant spatial S compatibility depend on stimulus complexity. *Psychological Research*, 56, 179-184.
- Hood, M., & Conlon, E. (2004). Visual and auditory temporal processing and early reading development. *Dyslexia*, 10 (3), 234-252.
- Huberle, E. & Karnath, H-O. (2006). Global shape recognition is modulated by the spatial distance of local elements: Evidence from simultanagnosia. *Neuropsychologia*, 44, 905-911.
- Hübner, R. (1997). The effect of spatial frequency of global precedence and hemispheric differences. *Perception and Psychophysics*, 59, 187-201.
- Hübner, R. (1998). Hemispheric differences in global/local processing revealed by same different judgements. *Visual Cognition*, 5, 457-478.
- Hübner, R. (2000). Attention shifting between global and local target levels: The persistence of level-repetition effects. *Visual Cognition*, 7 (4), 465-484.
- Hübner, R., & Druey, M. (2006). Response execution, selection, or activation: What is sufficient for response-related repetition effects under task shifting? *Psychological Research*, 70, 245-261
- Hübner, R., Futterer, T., & Steinhauser, M. (2001). On attentional control as source of residual shift costs: Evidence from two-component task shifts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 27, 640-653.
- Hübner, R., & Malinowski, P. (2001). How to produce an absent-advantage in visual search. *Perception and Psychophysics*, 63, 258-271.
- Hübner, R., & Malinowski, P. (2002). The effect of response competition on functional hemispheric asymmetries for global/local processing. *Perception and Psychophysics*, 64, 1290-1300.
- Hübner, R., & Volberg, G. (2005). The integration of object levels and their content: a theory of global/local processing and related hemispheric differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 520-541.
- Hübner, R., Volberg, G., & Studer, T. (in press). Hemispheric differences for global/local processing in divided attention tasks: Further evidence for the integration theory. *Perception & Psychophysics*
- Hugdahl, K., Heiervang, E., Ersland, L., Lundervold, A., Steinmetz, H., & Smievoll, A. I. (2003). Significant relation between MR measures of planum temporale area and dichotic processing of syllables in dyslexic children. *Neuropsychologia*, 41, 666-675.
- Hughes, H. C. (1986). Asymmetric interference between components of suprathreshold compound gratings. *Perception & Psychophysics*, 40, 241-250.

- Hughes, H. C., Fendrich, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (1990). Global versus Local processing in the absence of low spatial frequencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2, 272-282.
- Hughes, H. C., Layton, W. M., Baird, J. C., & Lester, L. S. (1984). Global precedence in visual pattern recognition. *Perception and Psychophysics*, 35, 361-371.
- Humphreys, G. W., Quinlan, P. T., & Riddoch, M. J. (1989). Grouping processes in visual search : Effects with single- and combined feature targets. *Journal of Experimental Psychology : General*, 118 (3), 258-279.
- Iles, J., Walsh, V., & Richardson, A. (2000). Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia*, 6 (3), 163-177.
- Jackson, J.H. (1874). On the nature of the duality of the brain. *Medical Press and Circular*, 1, 19.
- Jacquier-Roux, M., valdois, S., & Zorman, M. (2002). ODEDYS : un outil de dépistage des dyslexies. Grenoble : Laboratoire Cogni-sciences, IUFM de Grenoble.
- Jaskowski, P., & Rusiak, P. (2005). Posterior parietal cortex and developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 65 (1), 79-94.
- Jenner, A. R., Rosen, G. D., & Galaburda, A. M. (1999). Neural asymmetries in primary visual cortex of dyslexic and nondyslexic brains. *Annals of Neurology*, 46 (2), 189-196.
- Jiang, Y., & Han, S. (2005). Neural mechanisms of global/local processing of bilateral visual inputs: An Erp study. *Clinical Neurophysiology*, 116, 1444-1454.
- Johannes, S., Weiringa, B. M, Matzke, M., & Münte, T.F. (1996). Hierarchical visual stimuli: electrophysiological evidence for separate left hemispheric global and local processing mechanisms in humans. *Neuroscience letters*, 210 (2), 111-114.
- Johnson, S. P., & Aslin, R. N. (1996). Perception of object unity in young infants: The roles of motion, depth, and orientation. *Cognitive Development*, 11, 161-180
- Jolliffe, T., & Baron-Cohen, S. (1997). Are people with autism and Asperger syndrome faster on the embedded figures test ? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38, 527-534.
- Jonsson, J. E., & Hellige, J. B. (1986). Lateralized effects of blurring: A test of visual spatial frequency model of cerebral hemisphere asymmetry. *Neuropsychologia*, 24, 351-362.
- Joseph, J. E., Gathers, A. D., & Piper, G.A. (2003). Shared and dissociated cortical regions for object and letter processing. *Cognitive Brain Research*, 17, 56-67.
- Kaldy, Z., & Kovacs, I. (2003). Visual context integration is not fully developed in 4-year-old children. *Perception*, 32, 657-666.
- Kanizsa, G. (1979). *Organization in Vision*. New York: Praeger
- Katusic, S. K., Colligan, R. C., Barbaresi, W. J., Schaid, D. J., & Jacobsen, S. J. (2001). Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester Minn. *Mayo Clinic Proceedings*, 76 (11), 1081-1092.
- Kéïta, L., & Bedoin, N. (2003). *Hierarchical stimuli processing and domain specific effect*. Poster presented at the XIIIth Conference of the European Society for

Cognitive Psychology (ESCOP 13). Granada : Spain.

Kéïta, L., Bedoin, N., Herbillon, V., Lévy-Sebbag, H., & Mérigot, A. (2005). *Visual attention deficits and linguistic impairments in normal readers and dyslexic children*. Poster presented at the XVIIth European Academy of Childhood Disability Congress. Monaco.

Kéïta, L., Bedoin, N., Mérigot, A., & Herbillon, V. (2005). *Global/local processing of letter-based and object-based hierarchical stimuli: A developmental and neuropsychological study*. Poster presented at the XIVth Conference of the European Society of Cognitive Psychology (ESCOP 14). Leiden, Holland.

Kellman, P. J. (1997). From chaos to coherence: How the visual system recovers objects. *Psychological Science Agenda of the American Psychological Association*, 10 (4), 8-9.

Kellman, P. J., & Spelke, E. S. (1983). Perception of partly occluded objects in infancy. *Cognitive Psychology*, 15, 483-524.

Kemler, D. G. (1983). Exploring and reexploring issues of integrality, perceptual sensitivity, and dimensional salience. *Journal of Experimental Child Psychology*, 36, 365-379.

Kiefer, M., Weisbrod, M., Kern, I., Maier, S., & Spitzer, M. (1998). Right hemisphere activation during indirect semantic priming: Evidence from event-related potentials. *Brain and Language*, 64 (3), 377-408.

Kim, N., Ivry, R. & Robertson, L.C. (1999). Sequential priming in hierarchical figures: Effect of absolute and relative size. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25, 715-729.

Kim, Y. H., Robertson, L. C. (1999). Sequential priming in hierarchical organized figures : effects of target level and target resolution. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 25, 715-729.

Kimchi, R. (1988). Selective attention to global and local levels in the comparison of hierarchical patterns. *Perception & Psychophysics*, 43, 189-198.

Kimchi, R. (1994). The role of wholistic/configural properties versus global properties in visual form perception. *Perception*, 23, 489-504.

Kimchi, R. (1998). Uniform connectedness and grouping in the perceptual organization of hierarchical patterns. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 24, 1105-1118.

Kimchi, R. (2000). The perceptual organization of visual objects: A microgenetic analysis. *Vision Research*, 40, 1333-1347.

Kimchi, R., & Bloch, B. (1998). Dominance of configural properties in visual form perception. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5 (1), 135-139.

Kimchi, R., Hadad, B., Behrmann, M., & Palmer, S. E. (2005). Microgenesis and ontogenesis of perceptual organization. *Psychological Science*, 16 (4), 282-290.

Kimchi, R., & Merhav, I. 1991. Hemispheric processing of global form, local form, and texture. *Acta Psychologica*. 76, 133-147.

Kimchi, R., & Palmer, S. E. (1985). Separability and integrality of global and local levels of hierarchical patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*

- Performance*, 11, 673-688.
- Kimchi, R., & Razpurker-Apfeld, I. (2004). Perceptual grouping and attention: Not all groupings are equal. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11 (4), 687-696.
- Kimchi, R., Yeshurun, Y., & Cohen-Savreansky, A. (2006, in press). Stimulus-driven attentional capture by objecthood. *Psychonomic Bulletin and Review*.
- Kimura, D. (1963). Speech lateralization in young children as determined by an auditory test. *Journal of Comparative Physiology and Psychology*, 56 (5), 899-902.
- Kimura, D. (1969). Spatial localization in left and right visual fields. *Canadian journal of psychology*, 23, 445-448.
- Kimura, D., & Archibald, Y. (1974). Motor functions of the left brain hemisphere. *Brain*, 97, 337-350.
- Kinchla, R.A. (1974). Detecting target elements in multielement arrays : A confusability model. *Perception and Psychophysics*, 15, 149-158.
- Kinchla, R.A., Solis-Marcias, V., & Hoffman, J. (1983). Attending different levels of structure in a visual image. *Perception and Psychophysics*, 33, 1-10.
- Kinchla, R.A., & Wolfe, J.M. (1979). The order of visual processing : "Top down", bottom up" or "middle-out". *Perception and Psychophysics*, 25, 225-231.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201.
- Kinsbourne, M., & Hicks, R.E. (1978). Functional cerebral space: a model for overflow, transfer, and interference effects in human performance, in J. REQUIN (Eds), *Attention and Performance*, VIII, Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Kitterle, F. L. & Selig, L. M. (1991). Visual field effects in the discrimination of sine-wave gratings. *Perception and Psychophysics*, 50 (1), 15-18.
- Kitterle, F. M., Christman, S. L., & Hellige, J. B. (1990). Hemispheric differences are found in the identification, but not the detection, of low vs. high spatial frequencies. *Perception and Psychophysics*, 48, 297-306.
- Koenig, O., Kosslyn, S. M., & Wolff, P. (1991). Mental imagery and dyslexia: A deficit in processing multipart visual objects? *Brain and Language*, 41, 381-394.
- Koenig, O., Reiss, L. P., & Kosslyn, S. M. (1990). The development of spatial relation representations: Evidences from studies of cerebral lateralization. *Journal of Experimental Child Psychology*, 50, 119-130.
- Koffka, K. (1965). *Principles of gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace & World (original work published 1935).
- Koski, L., & Petrides, M. (2001). Times-related changes in task performance after lesions restricted to the prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 39, 268-281.
- Kosslyn, S. M. (1987). Seeing and imaging in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, 94, 148-175.
- Kosslyn, S. M., Chabris, C. F., Marsolek, C. J., & Koenig, O. (1992). Categorical versus coordinate spatial relations : Computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 18, 562-577.

- Kosslyn, S. M., & Koenig, O. (1992). *Wet mind: The new cognitive neuroscience*. New York: Free Press.
- Kosslyn, S. M., & Koenig, O. (1995). *Wet mind: The new cognitive neuroscience* (2nd ed). New York: Free Press.
- Kosslyn, S. M., Koenig, O., Barrett, A., Cave, C. B., Wang, G. (1989). Evidence for two spatial representations: Hemispheric specialization for categorial and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 723-735.
- Kotchoubey, B., Wascher, E., & Verleger, R. (1997). Shifting attention between global features and small details : an event-related potential study. *Biological Psychology*, 46, 25-50.
- Kovacs, I. (2000). Human development of perceptual organization. *Vision Research*, 40, 1301-1310.
- Kovacs, I., Fehe´, A., Shankle, W. R., Hara, J., Fallon, J. H. (1999c). Delayed maturation of the central visual stream in humans. *European Conference on Visual Perception*, Trieste, Italy.
- Kraschen, S. (1973). Lateralization, language learning and the critical period : some new evidence. *Language Learning*, 23, 63-74.
- Krifi, S., & Bedoin, N. (2003). Effects of voicing similarity between consonants in printed stimuli, in normal and dyslexic children. *Current Psychology Letters : Behaviour, Brain & Cognition*, 10 (1), 1-7. <http://cpl.revues.org/document93.html>.
- Krifi, S., Bedoin, N., & Mérigot, A. (2003). Effects of voicing similarity between consonants in printed stimuli, in normal and dyslexic children. *Current Psychology Letters : Behaviour, Brain & Cognition*, 10 (1), 1-7.
- Kronbichler, M., Hutzler, F., Heinz Wimmer, H., Mair, A., Staffen, W., & Ladurner, G. (2004). The visual word form area and the frequency with which words are encountered: Evidence from a parametric fMRI study. *NeuroImage*, 21, 946-953.
- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J., & Näätänen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37, 262-266.
- Kurylo, D. D. (1997). Time course of perceptual grouping. *Perception and Psychophysics*, 59 (1), 142-147.
- Laberge, D. (1995). *Attentional processing : The brain's art of mindfulness*. Cambridge, MA : Harvard University Press
- Laberge, D. (1998). L'attention comme intensification de l'activité corticale. *Revue de Neuropsychologie*, 8 (1), 53 - 81.
- LaBerge, D. L., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, 96, 101-124.
- LaGasse, L. L. (1993). Effects of good form and spatial frequency on global precedence. *Perception and Psychophysics*, 3 (1), 89-105.
- Lalain, M., Joly-Pottuz, N., & Habib, M. (2003). Dyslexia : The articulatory hypothesis revisited. *Brain and Cognition*, 53 (2), 253-256.

- Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1988). The processing of hierarchical stimuli : Effects of retinal locus, locational uncertainty, and stimulus identity. *Perception and Psychophysics*, 44, 172-181.
- Lamb, M. R., & Robertson, L. C (1989). Do response time advantage and interference reflect the order of processing of global- and local-level information ? *Perception and Psychophysics*, 46 (3), 254-258.
- Lamb, M. R., & Robertson, L. C., & Knight, R.T. (1989). Attention and interference in the processing of hierarchical patterns: Inferences from patients with right and left temporal-parietal lesions. *Neuropsychologia*, 27, 471-483.
- Lamb, M. R., London, B., Pond, H. M., & Whitt, K.A. (1998). Automatic and controlled processes in the analysis of hierarchical structure. *Psychological Science*, 9, 14-19.
- Lamb, M. R., Pond, H. M., & Zahir, G. (2000). Contributions of automatic and controlled processes to the analysis of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 234-245.
- Lamb, M. R., & Robertson, L. C., & Knight, R. T. (1990). Component mechanisms underlying the processing of hierarchically organized patterns: Inferences from patients with unilateral cortical lesions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 471-483.
- Lamb, M. R., & Yund, E. W. (1993). The role of spatial frequency in the processing of hierarchically organized structure. *Perception and Psychophysics*, 54, 773-784.
- Lamb, M. R., & Yund, E. W. (1996a). Spatiiale frequency and interference between goals and local levels of structure. *Visual Cognition*, 3, 193-219.
- Lamb, M. R., & Yund, E. W. (1996b). Spatial frequency and attention: Effect of level-, target-, and location-repetition on the processing of global and local forms. *Perception and Psychophysics*, 58, 363-373.
- Lamb, M. R., & Yund, E. W. (2000). The role of frequency in cued shifts of attention between global and locals forms. *Perception and Psychophysics*, 62 (4), 753-761.
- Lamb, M. R., Yund, E. W., & Pond, H. M. (1999). Is attentional selection to different levels of hierarchical structure based on spatial frequency ? *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 88-94.
- Lamoury, I. (2002). Spécificité de la spécialisation hémisphérique dans l'épilepsie à pointes centro-temporales : organisation cérébrale fonctionnelle et latéralisation du foyer épileptogène. Mémoire réalisé sous la direction de Nathalie Bedoin et Vania Herbillon, pour l'obtention du DESS de Psychologie Clinique et Pathologique, Mention Neuropsychologie, Pathologies Acquises et Développementales des Fonctions Cognitives, Université de Savoie.
- Large, M.-E., & McMullen, P. A. (2006). Hierarchical attention in discriminating objects at different levels of specificity. *Perception and Psychopsysics*, 68 (5), 845-860.
- Larsen, A., & Bundesen, C. (1978). Size scaling in visual pattern recognition. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 4 (1), 1-20.
- Larsen, J. P., Høien, T., Lundberg, I., & Odegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporale in adolescent with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 39, 289-301.

- Lasaga, M. I. (1989). Gestalts and their components: Nature of information-precedence. In B. Shepp & S. Ballesteros (Eds.), *Object perception: Structure & process* (pp. 165-202). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Le Bihan, D. (1999). Imagerie cérébrale et plasticité du système nerveux central. *Les Cahiers du Comité Consultatif National d'Ethique pour les sciences de la vie et de la santé*, 20, 16-18
- LeMay, M. (1976). Morphological cerebral asymmetries of modern man, fossil man, and nonhuman primate. *Annals of New York Academy of science*, 280, 349-366.
- LeMay, M. (1977). Asymmetries of the skull and handedness. *Journal of Neurological Science*, 32, 243-253.
- LeMay, M. (1984). Radiological, developmental, and fossil asymmetries. In N. Geschwind & A.M. Galaburda (Eds), *Cerebral dominance: The biological foundations* (pp. 26-42). Cambridge, MA : Havard University Press.
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological foundations of Language*. New York : Wiley.
- Leonard, C. M., Voeller, K. S., Lombardino, L. J., Morris, M. K., Hynd, G. W., Alexander, H. G., Garofalakis, M., Honeyman, J. C., Mao, J., Agee, O. F., & Staab, E. V. (1993). Anomalous cerebral structure in dyslexia revealed with magnetic resonance imaging. *Archives of Neurology*, 50, 461-469.
- Levy-Sebbag, H. (2004). *Mise en évidence de troubles visuo-attentionnels et de troubles de la latéralisation hémisphérique chez des enfants dyslexiques*. Mémoire de maîtrise, Lyon 2.
- Lewis, J. P., & Frick, R. W. (1999). Row blindness in gestalt grouping and developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 37, 385-393.
- Liégeois, F., Connelly, A., Helen Cross, J., Boyd, S. G., Gadian, D. G., Vargha-khadem, F., & Baldeweg, T. (2004). Language reorganization in children with early-onset lesions of the left hemisphere : an fMRI study. *Brain*, 127, 1229-1236.
- Lim, H-C., & Jin, Y-S. (1998). Multi-task study of the effects of task load and gender on the development of visual field asymmetry. *Child Neuropsychology*, 4 (3), 213-224.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences – USA*, 88, 7643-7647.
- Lopez, B., Donnelly, N., Hadwin, J. A., & Leekam, S. R. (2004). Face processing in high-functioning adolescents with autism : Evidence for weak central coherence. *Visual Cognition*, 11 (6), 673-688.
- Lopez-Castello, C. (2006). *Latéralisation hémisphérique de mécanismes cognitifs : approche développementale et perturbations dans l'épilepsie de l'enfance*. Mémoire réalisé sous la direction de Nathalie Bedoin pour l'obtention du Master 2 en Humanité et Sciences Humaines, Mention Psychologie, Spécialité Recherche, Université Lyon 2.
- Lovegrove, W. J., Lehmkuhle, S., Baro, J. A., & Garzia, R. (1991). The effects of uniform field flicker and blurring on the global precedence effect. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 289-291.
- Lovegrove, W. J., Martin, F., Bowling, A., Blackwood, M., Badcock, D., & Paxton, S.

- (1982). Contrast sensitivity functions and specific reading disability. *Neuropsychologia*, 20 (3), 309-315.
- Luna, D. & Montoro, P. R. (2006). The distortion of spatial relationships between local elements in hierarchical patterns decreases the global advantage effect. *Psychological Research*.
- Luna, D., Marcos-Ruiz, R., & Merino, J. M. (1995). Selective attention of global and local information: Effects of visual angle, exposure duration, and eccentricity on processing dominance. *Visual Cognition*, 2, 183-200.
- Luna, D, Merino, J. M., & Marcos-Ruiz, R. (1990). Processing dominance of global and local information in visual patterns. *Acta Psychologica*, 73, 131-143.
- Lundberg, I., Frost, J., & Petersen, D. (1988). Long term effects of a preschool training program in phonological awareness. *Reading Research Quarterly*, 28, 263-284.
- Lupp, U., Hauske, G., & Wolf, W. (1976). Perceptual latencies to sinusoidal gratings. *Vision Research*, 16, 969-972.
- Lux, S., Marshall, J. C., Ritzl, A., Weiss, P. H., Pietrzyk, U., Shah, N. J., Zilles, K., & Fink, G. R. (2004). A functional magnetic resonance imaging study of local/global processing with stimulus presentation in the peripheral visual hemifields. *Neuroscience*, 124, 113-120.
- Lux, S., Thimm, M., Marshall, J.C, & Fink, G. R. (2006). Directed and Divided attention during hierarchical processing in patients with visuo-spatial neglect and matched healthy volunteers. *Neuropsychologia*, 44, 436-444.
- Macchi Cassia, V., Simion, F., Milani, I., & Umiltà, C. (2002). Dominance of global visual properties at birth. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131 (3), 398-411.
- Mack, A., Tang, B., Kahn, S., & Rock, I. (1992). Perceptual organization and attention. *Cognitive Psychology*, 24, 475-501.
- Malinowski, P., Hübner, R., Keil, A., & Gruber, T. (2002). The influence of response competition on cerebral asymmetries for processing hierarchical stimuli revealed by ERP recordings. *Experimental Brain Research*, 144, 136-139.
- Mangun, G. R., Hillyard, S. A. (1995). Attention: mechanisms and models. In: Rugg MD, Coles MGH, (Eds.), *The electrophysiology of mind* (pp. 40-85). New York: Oxford University Press.
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Peterson, A. (1996). On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*, 58, 157-195.
- Manny, R. E., & Klein, S. A. (1984). The development of vernier acuity in infants. *Current Eye Research*, 3, 453-462
- Marendaz, C., Valdois, S., & Walch, J. P. (1996). Dyslexie développementale et attention visuo-spatiale. *L'Année Psychologique*, 96, 193-224.
- Mars, R. B., Piekema, C., Coles, M. G. H., Hulstijn, W., & Toni, I. (sous presse). On the programming and reprogramming of actions. *Cerebral cortex*.
- Martin, M. (1979). Hemispheric specialization for local and global processing. *Neuropsychologia*, 17, 33-40.
- Martinez, A., Moses, P., Frank, L., Buxton, R., Wong, E., & Stiles J. (1997).

- Hemispheric asymetries in global and local processing:evidence from FMRI.
Neuroreport, 8, 1685-1689.
- Masataka, N. (2006). Music, evolution and language. *Developmental Science* 10 (1), 35–39
- Maurer, D., & Lewis, T. L. (2001). Visual acuity and spatial contrast sensitivity: Normal development and underlying mechanisms. In C. A. Nelson and M. Luciana (Eds.). *The handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 237-250). Boston, MA : MIT Press.
- May, J. G., Gutierrez, C., & Harsin, C. A. (1995). The time-course of global precedence and consistency effects. *International Journal of Neuroscience*, 80, 237-245.
- Mc Candliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (7), 293-299.
- McCarthy, R. A., & Warrington, E. K. (1990). *Cognitive neuropsychology: A clinical introduction*. San Diego: Academic Press.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations on words. *Vision Research*, 28, 1107-1118.
- McElree, B., & Carrasco, M. (1999). The temporal dynamics of visual search: Evidence for parallel processing in feature and conjunction searches. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25 (6), 1517-1539.
- McGivern, R. F., Berka, C., Languis, M. L., & Chapman, S. (1991). Detection of deficits in temporal pattern discrimination using the Seashore rhythm test in young children with reading impairments. *Journal of Learning Disabilities*, 24, 58-62.
- McLeod, P., Driver, J., & Crisp, J. (1988). Visual search for a conjunction of movement and form is parallel. *Nature*, 332, 154-155.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1423-1442.
- Mérigot, A. (2003). Etude de mécanismes visuo-attentionnels chez des enfants dyslexiques avec ou sans trouble phonologique. Mémoire de DESS de Psychologie Clinique. Université de Savoie.
- Mevorach, C., Humphreys, G. W., & Shalev, L. (2006). Effects of saliency, not global dominance, in patients with left parietal damage. *Neuropsychologia*, 44, 307-319.
- Michimata, C., Okubo, M., & Mugishima, Y. (1999). Effects of background color on the global and local processing of hierarchically organized stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 1–8
- Miller, J. (1981). Global precedence in attention and decision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1161-1174.
- Miller, J., & Navon, D. (2002). Global precedence and response activation : Evidence

- from LRPs. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55 (1), 289-310.
- Modigliani, V., Bernstein, D., & Govorkov, S. (2001). Attention and size in a global/local task. *Acta Psychologica*, 108, 35-51.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: Auditory processing or phonological coding ? *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 199-231.
- Mondloch, C. J., Geldart, S., Maurer, D., De Schonen, S. (2003). Developmental changes in the processing of hierarchical shapes continue into adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84, 20 – 40.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (3), 134-140.
- Moore, C. M., & Egeth, H. (1997). Perception without attention: Evidence of grouping under conditions of inattention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23 (2), 339-352.
- Morgan, A. E., & Hynd, G. W. (1998). Dyslexia, neurolinguistic ability, and anatomical variation of the planum temporale. *Neuropsychology Review*, 8 (2), 79-93.
- Moses, P., Roe, K., Buxton, R., Wong, E., Frank, L. and Stiles, J. (2002). Functional MRI of global and local processing in children. *NeuroImage*, 16 (2), 415-424.
- Mottron, L., Belleville, S., & Ménard, E. (1999a). Local bias in autistic subjects as evidenced by graphic tasks: Perceptual hierarchization or working memory deficits ? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40 (5), 743-755.
- Mottron, L., Burack, J. A., Iarocci, G., Belleville, S., & Enns, J. (2003). Locally oriented perception with intact global processing among adolescents with high-functioning autism: Evidence from multiple paradigms. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44 (6), 904-913.
- Mottron, L., Burack, J. A., Stauder, J. E. A., & Robaey, P. (1999b). Perceptual processing among high-functioning persons with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40 (2), 203-211.
- Müller, R. A., Rothermel, R. D., Behen, M. E., Muzik, O., Chakraborty, P. K., Chugani, H., T. (1999). Language organization in patients with early and late left-hemisphere lesion. A PET study. *Neuropsychologia*, 37, 545-557.
- Murray, E. A., & Coulter, J. D. (1981). Organization of corticospinal neurons in the monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 195 (2), 339-365.
- Murray, F. R., & Lee, T. S. (1977). The effects of attention-directing training on recognition memory task performance of three-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 23, 430-441.
- Murray, J. E., & Jones, C. (2002). Attention to local form information can prevent access to semantic information. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55, 609-625.
- Nakamura, K., Oga, T., Okada, T., Sadato, N., Takayama, Y., Wydell, T., Yonekura, Y., & Fukuyama, H. (2005). Hemispheric asymmetry emerges at distinct parts of the occipitotemporal cortex for objects, logograms, and phonograms : A functional MRI study. *NeuroImage*, 28 (3), 521-528.
- Nakayama, K., & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual

- feature conjunctions. *Nature*, 320, 264-265.
- Navon, D. (1977). Forest before trees : The precedence of global feature in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- Navon, D. (1981). Do attention and decision follow perception ? Comment on Miller. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1175-1182.
- Navon, D. (1991). Testing a queue hypothesis for the processing of global and local information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 173- 189.
- Navon, D. (2003). What does a compound letter tell the psychologist's mind? *Acta Psychologica*, 114, 273–309.
- Navon, D., & Norman, J. (1983). Does global precedence really depend on visual angle? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 955-965.
- Needham, A., & Baillargeon, R. (1997). Objects segregation in 8 month-old infants. *Cognition*, 62, 121-149.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (1999). Developmental dyslexia : The role of the cerebellum. In I. Lundberg, F. E. Tonnessen, & I. Austad (Eds.), *Dyslexia : Advances in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Berry, E. L., Jenkins, I. H., Dean P., & Brooks, D. J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic children. *Lancet*, 353, 1662-1667.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24 (9), 508-511.
- Niebauer, C. L., & Christman, S. D. (1999). Visual field differences in spatial frequency discrimination. *Brain and Cognition*, 41 (3), 381-389.
- Niederbuhl, J., & Springer, S. P. (1979). Task requirements and hemispheric asymmetry for the processing of single letters. *Neuropsychologia*, 17 (6), 689-692.
- Ninose, Y., & Gyoba, J. (2003). The effect of prolonged viewing on the recognition of global and local levels of hierarchically constructed patterns. *Acta Psychologica*, 112, 233-242.
- Nittrouer, S. (1999). Do temporal processing deficits cause phonological processing problems ? *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 42 (4), 925-942.
- Odom, R. D., & Cook, G. L. (1984). Perceptual Sensitivity, Integral Perception, and the Similarity Classifications of Preschool Children and Adults. *Developmental Psychology*, 20 (4), 560-567.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-114.
- Palmer, S. E., Brooks, J. L., & Nelson, R. (2003). When does grouping happen? *Acta Psychologica*, 114, 311–330.
- Palmer, S. E., & Nelson, R. (2000). Late influence on perceptual grouping: Illusory figures. *Perception & Psychophysics*, 62, 1321–1331.
- Palmer, S. E., & Rock, I. (1994a). Rethinking perceptual organization : The role of

- uniform connectedness. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1 (1), 29-55.
- Palmer, S. E., & Rock, I. (1994b). On the nature and order of organizational processing : A reply to Peterson. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 515-519.
- Pani, J. R., Mervis, C. B., & Robinson, B. F. (1999). Global spatial organization by individuals with Williams syndrome, *Psychological Science*, 10 (5), 453-458.
- Paquet, L. (1987). Supériorité de la structure globale : phénomène perceptif ou postperceptif. *L'Année Psychologique*, 87 (2), 185-206.
- Paquet, L., & Merickle, P. M. (1984). Global precedence: The effect of exposure duration. *Canadian Journal of Psychology*, 381, 45-53.
- Paquet, L., & Merikle, P. M. (1988). Global precedence in attended and nonattended objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 89-100.
- Paquier, P. F., & Van Dogen, H. R. (1996). Review of research on the clinical presentation of acquired childhood aphasia. *Acta Neurol. Scand.*, 93, 428-436.
- Parasuraman, R., Greenwood, P. M., Haxby, J. V., & Grady, C. L. (1992). Visuospatial attention in dementia of the Alzheimer type. *Brain*, 115, 713-733.
- Passarotti, A. M., Paul, B. M., Bussiere, J. R., Buxton, R. B., Wong, E. C., and Stiles, J. (2003). The development of face and location processing: an fMRI study. *Developmental Science*, 6 (1), 100-117.
- Pasto, L., & Burack, J. A. (1997). A developmental study of visual attention: Issues of filtering efficiency and focus. *Cognitive development*, 12 (4), 523-535.
- Paulesu, E., Démonet, J. – F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural Diversity and *Biological Unity Science*, 291 (5511), 2165-2167.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*, 119, 143–157
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cotelli, M., Cossu, G., Corte, F., Lorusso, M., Pesenti, S., Gallagher, A., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3, 91–96.
- Peressotti, F., Rumaiti, R., Nicoletti, R., & Job, R. (1991). New evidence for the perceptual precedence of global information. *Acta Psychologica*, 77, 35-46.
- Pernet, C., Celsis, P., Demonet, J. F. (2005). Selective response to letter categorization within the left fusiform gyrus. *NeuroImage* 28 (3), 738-744.
- Pernet, C., Valdois, S., Celsis, P., & Démonet, J. F. (2006). Lateral masking, levels of processing and stimulus category : A comparative study between normal and dyslexic children. *Neuropsychologia*, 44, 2374-2385.
- Petersen, S. E., Fox, P. T., Snyder, A. Z., & Raichle, M. E. (1990). Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science*, 249, 1041-1044.
- Peterzell, D. H. (1991). On the nonrelationship between spatial frequency and cerebral

- hemispheric competence, *Brain & Cognition*, 15, 62-68
- Peterzell, D. H., Harvey, L. O. & Hardyck, C. D. (1989). Spatial frequencies and the cerebral hemispheres: contrast sensitivity, visible persistence, and letter classification. *Perception and Psychophysics*, 46 (5), 443-455.
- Peyrin, C., Chauvin, A., Chokron, S., & Marendaz, C. (2003). Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain and Cognition*, 53, 278-282.
- Pins, D., Meyer, M. E., Foucher, J., Humphreys, G., & Boucart, M. (2004). Neural correlates of implicit object identification. *Neuropsychologia*, 42, 1247-1259.
- Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced visual search for a conjunctive target in autism : A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 777-783.
- Plaisted, K., Swettenham, J., & Ree, L. (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40, 733-742.
- Poirel, N., Pineau, E., & Mellet, E. (2006). Implicit identification of irrelevant local objects interacts with global/local processing of hierarchical stimuli. *Acta Psychologica*, 122, 321-336.
- Polich, J., & Aguilar, V. (1990). Hemispheric local/global processing revisited. *Acta Psychologica*, 74 (1), 47-60.
- Polk, T. A., & Farah, M. J. (1998). The neural development and organization of letter recognition: Evidence from functional neuroimaging, computational modeling, and behavioral studies. *Proceedings of the National Academic Science USA*, 95 (3), 847-852.
- Polk, T. A., Stallcup, M., Aguirre, G. K, Alsop, D. C, D'Esposito, M., Detre, J. A., & Farah, M. J. (2002). Neural specialization for letter recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14 (2), 145-159.
- Pollman, S. (2001). Switching between dimensions, locations, and responses: the role of the left frontopolar cortex. *Neuroimage*. 14 (1), 118-124.
- Pollux, P. M. (2004). Advance preparation of set-switches in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 42, 912-919.
- Polster, M. R., & Rapcsak, S. Z. (1994). Hierarchical stimuli and hemispheric specialization: Two case studies. *Cortex*, 30, 487-497.
- Pomerantz, J. R. (1983). Global and local precedence: Selective attention in form and motion perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 516-540.
- Pomerantz, J. R. (2004, soumis). Piecemeal perception and Hochberg's window : Grouping of stimulus elements over distances.
- Pomerantz, J. R., & Pristach, E. A. (1989). Emergent features, attention, and perceptual glue in visual form perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 15, 635-649.
- Pomerantz, J. R., Sager, L. C., & Stoeve, R. J. (1977). Perception of wholes and their component parts: Some configural superiority effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 3, 422-435.

- Pomerantz, J. R., & Schwaizberg, S. D. (1975). Grouping by proximity: Selective attention measures. *Perception & Psychophysics*, 18, 355-361.
- Porporino, M., Shore, D. I., Iarocci, G., & J. A. Burack (2004). A developmental change in selective attention and global perception. *International Journal of Behavioral Development*, 28 (4), 358-364.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I. (1988). Structures and functions of selective attention. In T. Boll and B. Bryant (Eds.), *Master lectures in clinical neuropsychology* (pp. 173-202). Washington, DC: American Psychological Association.
- Posner, M. I. (1990). Hierarchical distributed networks in the neuropsychology of selective attention. In A. Caramazza (Ed.), *Cognitive neuropsychology and neurolinguistics : Advances in cognitive neuropsychology* (pp. 187-210). Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Posner, M. I., Cohen, Y. (1984). Components of attention. In Bouma, H. & Bouwhuis, D. G. (Eds), *Attention and Performance X* (PP. 55-66). Hillside, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M. I., Inhoff, A., Friedrich, F. J., Cohen, A. (1987). Isolating attentional systems: A cognitive-anatomical analysis. *Psychobiology* 15, 107-21.
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Image of mind*. New York: Scientific American Library.
- Posner, M. I. & Raichle, M., E. (1995). The neuroimaging of human brain function. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 95 (3), 763-764
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *Journal of Neuroscience*, 4, 1863-1874.
- Prather, P. A., & Bacon, J. (1986). Developmental differences in part/wholes identification. *Child Development*, 57, 549-558.
- Price, C. J., Wise, R. J., Watson, J. D., Patterson, K., Howard, D., & Frackowiak, R. S. (1994). Brain activity during reading : The effect of exposure duration and task. *Brain*, 117 (6), 1255-1269.
- Printzmetal, W. (1995). Visual feature integration in a world of objects. *Current Directions in Psychological Science*, 4, 90-94.
- Proverbio, A. M., Minniti, A & Zani, A. (1997). Electrophysiological evidence of a perceptual precedence of global V. local visual information. *Cognitive Brain Research*, 6, 321-334.
- Proverbio, A. M., Minniti, A., & Zani, A. (1998). Electrophysiological evidence of a perceptual precedence of global vs. local visual information. *Cognitive Brain Research*, 6, 321-334.
- Proverbio, A. M., Zani, A., & Avella, C. (1997). Hemispheric asymmetries for spatial frequency discrimination in a selective attention task. *Brain and Cognition* 34 (2), 311-320.
- Querné, L., Eustache, F., & Faure, S. (2000). Interhemispheric inhibition, intrahemispheric activation, and lexical capacities of the right hemisphere: A

- tachistoscopic, divided visual-field study in normal subjects. *Brain and Language*, 74, 171-190.
- Querné, L., & Faure, S. (1996). Activating the right hemisphere by a prior spatial task: Equal lexical decision accuracy in the left and right visual fields in normal subjects. *Brain and Cognition*, 32, 142-146.
- Quinlan, P.T., & Humphreys, G. W. (1987). Visual search for targets defined by combinations of color, shape, and size: an examination of the task constraints on feature and conjunction searches. *Perception and Psychophysics*, 41 (5), 455-472
- Quinn, P. C., & Bhatt, R. S. (2005). Learning perceptual organization in infancy. *Psychological Science*, 16 (7), 511-515.
- Quinn, P. C., Bhatt, R. S., Brush, D., Grimes, A., & Sharpnack, H. (2002). Development of form similarity as a gestalt grouping principle in infancy. *Psychological Science*, 13 (4), 320-328.
- Quinn, P. C., Brown, C. R., & Streppa, M. L. (1997). Perceptual organization of complex visual configurations by young infants. *Infant Behavior & Development*, 20, 35-46.
- Quinn, P. C., Burke, S., & Rush, A. (1993). Part-whole perception in early infancy: Evidence for perceptual grouping produced by lightness similarity. *Infant Behavior and Development*, 16, 19-42.
- Raberger, T., & Wimmer, H. (2003). On the automaticity /cerebellar deficit hypothesis of dyslexia: Balancing and continuous rapid naming in dyslexic and ADHD children. *Neuropsychologia*, 41, 1493-1497.
- Rae, C., Harasty, J. A., Dzendrowskyj, T. E., Talcott, J. B., Simpson, J. M., Blamire, A. M., Dixon, R. M., Lee, M. A., Thompson, C. H., Styles, P., Richardson, A. J., & Stein, J. F. (2002). Cerebellar morphology in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 40, 1285-1292.
- Rafal, R., & Robertson, L. (1995). The neurology of visual attention. In M. Gazzaniga (Eds.), *Handbook of Cognitive neuroscience*. (pp 301-318). Hillsdale
- Raichle, M. E., Fiez, J. A., Videen T. O., MacLeod, A. M. K., Pardo, J. V., Fox, P. T., & Petersen, S. E. (1994). Practice-related changes in human brain functional-anatomy during nonmotor learning. *Cerebral Cortex*, 4, 8-26.
- Ramus, F. (2003). Theories of developmental dyslexia : Insight from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841-865.
- Ramus, F., Pidgeon, E., & Frith, U. (2003). The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44 (5), 712-722.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia : Insight from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841-865.
- Rauschenberger, R., & Yantis, S. (2001). Attentional capture by globally defined objects. *Perception and Psychophysics*, 63 (7), 1250-1261.
- Rebai, M., Bernard, C., Lannou, J., & Jouen, F. (1998). Spatial frequency and right hemisphere : an electrophysiological investigation. *Brain and Cognition*, 36, 21-29.
- Reed, M. A. (1989). Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in

- reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 270-292.
- Reinvang, I., Magnussen, S., & Greenlee, M. W. (2002). Hemispheric asymmetry in visual discrimination and memory: ERP evidence for the spatial frequency hypothesis. *Experimental Brain Research*, 144, 483-495.
- Rensink, R. A., & Enns, J. T. (1995). Preemption effects in visual search: Evidence for low-level grouping. *Psychological Review*, 102 (1), 101-130.
- Rey, V., de Martino, S., Espesser, R., & Habib, M. (2001). Temporal processing and phonological impairment in dyslexia: Effect of phoneme lengthening on order judgement of two consonants. *Brain and Language*, 80, 576-591.
- Richard, J. E. (2001). Attention in Young children: A developmental psychophysiological perspective. In Nelson, C. A and Luciana, M. (Eds), *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience* (pp 321- 351). Cambridge, Mass : MIT Press.
- Ridderinkhof, K. R., & van der Molen, M. W. (1995). When global information and local information collide: A brain potential analysis of the locus of interference effects. *Biological Psychology*, 41, 29-53.
- Ridderinkhof, K. R., van der Molen, M. W., Band, G. P. H., & Bashore, T. R. (1997). Sources of interference from irrelevant information: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 315-341.
- Riddoch, M. J., & Humphreys, G. W. (1987). Picture naming. In G. Humphreys & M. J. Riddoch (Eds), *Visual object processing: A cognitive neuropsychological approach* (pp. 107-142). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rinehart, N., Bradshaw, J., Moss, S., Brereton, A., & Tonge, B. (2000). Atypical interference of local detail of global processing in high functioning autism and Asperger's disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41, 769-778.
- Ripoll, T., Fiere, E., & Pélissier, A. (2005). Relative weight of local and global properties depends on both the position of local elements and the saliency of global form. *Experimental Psychology*, 52 (4), 272-280.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (1998). De l'attention spatiale à l'attention vers des objets : une extension de la théorie prémotrice de l'attention. *Revue de Neuropsychologie*, 8 (1), 155-174.
- Robertson, L. C. (1995). Hemispheric specialisation and cooperation in processing complex visual patterns. In F.L. Kitterle (Eds.), *Hemispheric communication : Mechanisms and models* (pp. 301-318). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Robertson, L. C. (1996). Attentional persistence of features of hierarchical patterns. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 227-249.
- Robertson, L. C. (2003). Binding, spatial attention and perceptual awareness. *Nature Reviews: Neuroscience*, 4, 93-102.
- Robertson, L. C., Egly, R., Lamb, M. R., & Kerth, L. (1993). Spatial attention and cueing to global and local levels of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 19, 471-487.
- Robertson, L. C., & Lamb, M. R. (1991). Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization. *Cognitive Psychology*, 23, 299-330.

- Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Knight, R. T. (1988). Effects of lesions of temporal-parietal junction on perceptual and attentional processing in humans. *Journal of Neuroscience*, 8, 3757-3769.
- Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Knight, R. T. (1991). Normal global-local analysis in patient with dorsolateral frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 29, 959-967.
- Robertson, L. C., & Rafal, R. (2000). Disorders of visual attention. In M. Gazzaniga (Eds.). *The new cognitive neurosciences* (2nd ed.), pp.633-649. Cambridge: MIT Press.
- Robichon, F., & Habib, M. (1998). Abnormal callosal morphology in male adult dyslexics : Relationships to handedness and phonological abilities. *Brain and Language*, 62, 127-146.
- Roe, K., Moses, P., and Stiles, J. (1999). Lateralization of spatial processes in school aged children. *Journal of Cognitive Neurosciences*. (Suppl.):41.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). The cost of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.
- Romani, C., Ward, J., & Olson, A. (1999). Developmental surface dysgraphia : What is the underlying cognitive impairment ? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52, 97-128.
- Rondan, C., & Deruelle, C. (2004). Face processing in high functioning autistic adults: A look into spatial frequencies and the inversion effect. *Journal of Cognitive and Behavioral Psychotherapies*, 4, 149-163.
- Rondan, C., & Deruelle, C. (in press). Global and configural visual processing in adults with autism and Asperger syndrome. *Research in Developmental Disabilities*.
- Rosa, C. & Lassonde, M. (2005). Plasticité cérébrale et développement de la spécialisation hémisphérique au cours de la maturation de l'enfance à l'adolescence. Dans: C. Hommet, I. Jambaqué, C. Billard & P. Gillet, *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement*.
- Rosen, S. (2003). Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit ? What is its nature ? Does it explain anything ? *Journal of Phonetics*, 31.
- Rosen, S., & Manganari, E. (2001). Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia ? *Journal of Speech, language and Hearing Research*, 44, 720-736.
- Rosenthal, V., & Vissetti, Y. M. (1999). Sens et temps de la Gestalt. *Intellectica*, 28, 147-227.
- Rosler A, Mapstone, M. A., Hays, A. K., Mesulam, M. M., Rademaker, A., Gitelman, D. R., Weintraub, S. (2000). Alterations of visual search strategy in Alzheimer's disease and aging. *Neuropsychology*, 14, 398-4
- Rosler, A., Mapstone, M., Hays-Wicklund, A, Gitelman, D. R. & Weintraub, S. (2005). The "zoom lens" of focal attention in visual search: changes in aging and Alzheimer's disease. *Cortex*, 41 (4), 512-519.
- Rouse, H., Donnelly, N., Hadwin, J. A., & Brown, T. (2004). Do children with autism perceive second-order relational features ? The case of the Thatcher illusion. *Journal*

- of *Child Psychology and Psychiatry*, 45, 1246-1257.
- Rousselet, G. A. (2003). Catégorisation visuelle rapide des scènes naturelles : Limite du parallélisme et spécificité des visages. Thèse de Doctorat de l'EHESS, Sciences Cognitives, Ecole de hautes Etudes en Sciences Sociale, Toulouse.
- Roux, F., & Ceccaldi, M. (2001). Does aging affect the allocation of visual attention in global and local information processing? *Brain and Cognition*, 46, 383-396.
- Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans J. E. (2001). Executive control of Lorenz, Inhibition in verbal working memory revealed by brain cognitive processes in task switching, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 27, 763-797.
- Rueckert, L., & Grafman, J. (1996). Sustained attention deficit in patients with right frontal lesions. *Neuropsychologia*, 34, 953-963.
- Rumsey, J. M., Casanova, M., Manheim, Patronas, N., De Vaughn, N., Hamburger, S. D. (1996). Corpus callosum morphology, as measured with fMRI, in dyslexic men. *Biological Psychiatry*, 39, 769-775.
- Rumsey, J. M., Donohue, B. C., Brady, D. R., Nace, K., Giedd, J. N., & Andreason, P. (1997). A magnetic resonance imaging study of planum temporale asymmetry in men with developmental dyslexia. *Archives of Neurology*, 54, 1481-1488.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K. L., Maisog, J. M., & Anderson, P. (1999). A functional lesion in developmental dyslexia : Left angular gyral blood flow predicts severity. *Brain and Language*, 70 (2), 187-204.
- Rushworth, M. F., Krams, M., & Passingham, R. E. (2001). The attentional role of the left parietal cortex: The distinct lateralization and localization of motor attention in the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 698-710.
- Rushworth, M. F., Passingham, R. E., & Nobre, A. C. (2005). Component of Switching. *Experimental Psychology*, 52 (2), 83-98.
- Rusiak, P., Lachmann, T., Jaskowski, P., & van Leeuwen, C. (2007, in press). Mental rotation of letters sand shapes in developmental dyslexia. *Perception*.
- Sanocki, T. (2001). Interaction and scale and time during object identification. *Journal of Experimental Psychology : Human perception and performance*, 27, 290-302.
- Sasaki, Y., Hadjikhani, N., Fischl, B., Liu, A., Marret, S., Dale, A. M., & Tootell, R. B. (2001). Local and global attention are mapped retinotopically in human occipital cortex. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 2077-2082.
- Schatz, J., Craft, S., Koby, M., & DeBaun, M. R. (2004). Asymmetries in visual-spatial processing following childhood stroke. *Neuropsychology*, 18, 340-352.
- Schatz, J., Erlandson, F. (2003). Level-repetition effects in hierarchical stimulus processing: timing and location of cortical activity. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 255-269.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., & Remschmidt, H. (1998). Auditory processing and dyslexia: Evidence for a specific speech processing deficit. *NeuroReport*, 9, 337-340.
- Schulter, N. D., Krams, M., Rushworth, M. F. S., & Passingham, R. E. (2001). Cerebral

- dominance for action in the brain : The selection of actions. *Neuropsychologia*, 39, 105-113.
- Scott, F. J., & Baron-Cohen, S. (1996). Imagining real and unreal things: Evidence of a dissociation in autism. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 371-382.
- Sebrechts, M. M., & Fagala, J. J. (1985). Variation of parts and Wholes: Information precedence vs. Global precedence. *Proceedings of the seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 11-18.
- Semrud-Clikeman, M., Gury, K., Griffin, J.D., & Hynd, G.W. (2000). Rapid naming deficits in children and attention deficit hyperactivity disorder. *Brain and Language*, 74, 70-83.
- Sergent, J. (1982a). Basic determinants in visual-fields effects with special reference to the Hannay et al.(1981) study. *Brain and Language*, 16, 158-164.
- Sergent, J. (1982b). The cerebral balance of power: Confrontation or cooperation ? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 253-272.
- Sergent, J. (1985). Influence of task and input factors on hemispheric involvement in face processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 846-861.
- Sergent, J. (1987a). Information processing and laterality effects for object and face perception. In *visual Object Processing : A Cognitive Neuropsychological Approach*. G. W. Humphreys and M. J. Riddoch (145-173). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R., & Démonet, J. F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia ? *Journal of Speech, language and Hearing Research*, 44, 384-399.
- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carré, R., & Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 336-361.
- Shah, A., & Frith, U. (1983). An islet of ability in autistic children: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 24, 613-620.
- Shah, A., & Frith, U. (1993). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task ? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34, 1351-1364.
- Shaywitz, S. E. (1998). Current concepts: Dyslexia. *The New England Journal of Medicine* 338, 307-312.
- Shaywitz S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biological Psychiatry*, 57, 1301-1309.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52, 101-110.
- Shedden, J. M., Marsman, I. A., Paul, M. P., & Nelson, A. (2003). Attention switching between global and local elements: Distractor category and the level repetition effect. *Visual Cognition*, 10 (4), 433-470.
- Shep, B. E. (1978). From perceived similarity to dimensional structure : A new hypothesis about perceptual development. In E. Rosch & B Lloyd (Eds), *Cognition*

- and Categorization* (pp. 135-167). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Shull, S., Hupp, J., & Haaf, R. (2003). Global-local processing and the effect of familiarity. *Poster presented at 2003 Midwestern Psychological Association*, Chicago, Illinois.
- Shulman, G. L., Wilson, J. (1987). Spatial frequency and selective attention to local and global structure. *Perception* 16, 89-101.
- Shulman, G.L., Wilson, J., Gish, K., Sakota, W.J. (1986). The role of Spatial-frequency channels in the perception of local and global structure. *Perception*, 15, 259-273.
- Shulman, K. I. (1997). Disinhibition syndromes, secondary mania and bipolar disorder in old age. *Journal of Affective Disorder*, 46 (3), 175-182.
- Siéoff, E., & Auclair, L. (2002). Attention et dissymétrie hémisphérique. *Revue de Neuropsychologie*, 12 (2), 345-375.
- Siéoff, E. (1992). Introduction à l'attention sélective : définitions et propriétés. *Revue de Neuropsychologie*, 2 (1), 3-27.
- Silani, G., Frith, U., Demonet, J., F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: A voxel based morphometry study. *Brain*, 128 (10), 2453-2461.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000). Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: A magnetic source imaging approach. *Cerebral Cortex*, 10, 809-816.
- Slaghuys, W. L., & Ryan, J. F. (1999). Spatio-temporal contrast sensitivity, coherent motion, and visible persistence in developmental dyslexia. *Vision Research*, 39, 651-668.
- Slater (1991). Form perception at birth : Cohen and Younger (1984) revisited *Journal of Experimental Child Psychology*, 51, 395-406.
- Slavin, M. J., Mattingley, J. B., Bradshaw, J. L., & Storey, E. (2002). Local-global processing in Alzheimer's disease: an examination of interference, inhibition and priming. *Neuropsychologia*, 40 (8), 1173-86.
- Smalley, S. L., Loo, S. K., Yang, M. H., & Cantor, R. M. (2005). Toward localizing genes underlying cerebral asymmetry and mental health. *American Journal of Medical Genetics, Part B: Neuropsychiatric Genetics*, 135 (1), 79-84.
- Smith, L. B. (1979). Perceptual development and category generalization. *Child Development*, 50, 705-715.
- Smith, L. B. (1989). A model of perceptual classification in children and adults. *Psychological Review*, 96, 125-144.
- Smith, L. B., & Kemler, D. G. (1977). Developmental trends in free classification: Evidence for a new conceptualization of perceptual development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 24, 279-298.
- Snyder, A. Z., Abdullaev, Y. G., Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1995). Scalp electrical potentials reflect regional cerebral blood-flow responses during processing of written words. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 92, 1689-1693.
- Spelke, E. S. (1985). Preferential looking methods as tools for the study of cognition in infancy. In G. Gottlieb & N. Krasnegor (Bds.), *Measurement of audition and vision in*

- the first year of postnatal life*. Nonwood, NJ: Ablex.
- Speke, E. S. (1990). Principles of object Perception. *Cognitive Science*, 14, 29-56 .
- Spelke, E. S., Breinlinger, K., & Jacobson, K., & Phillips, A. (1993). Gestalt relations and object perception: A developmental study. *Perception*, 22, 1483-1501.
- Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (1992). Perception of moving and stationary gratings in brain damaged patients with unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia*. 30 (4), 393-401.
- Spinozzi, G., De Lillo, C., & Salvi, V. (2006). Local advantage in the visual processing of hierarchical stimuli following manipulations of stimulus size and element numerosity in monkeys (*Cebus apella*). *Behavioral Brain Research*, 166 (1), 45-54.
- Spironelli, C., Tagliabue, M., & Angrilli, A. (2006). Asymmetrical hemispheric EEG activation evoked by stimulus position during the Simon task. *Neuroscience Letters*, 399, 215-219.
- Sprengelmeyer, R., Lange, H., & Homberg, V. (1995). The pattern of attentional deficits in Huntington's disease. *Brain*, 118, 145-152.
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia : Evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54 (2), 87-104.
- Sprenger-Charolles, L., Lacert, P., & Colé, P. (1999). Déficits phonologiques et métaphonologiques chez des dyslexiques phonologiques et de surface. *Rééducation Orthophonique*, 197, 25-52.
- Stanovitch, K. E., Siegel, L. S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 89, 114-127.
- Stein, J. (1991). Visuospatial sense, hemispheric asymmetry and dyslexia. In J. F. Stein (Eds.), *Vision and visual dyslexia*, vol. 13. London : MacMillan.
- Stein, J. F., Richardson, A. J., & Fowler, M. S. (2000). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain*, 123 (1), 164-170.
- Stein, J. F., & Walsh, V. (1997). To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20, 147-152.
- Stiles, J. (2000). Neural Plasticity and Cognitive Development. *Developmental Neuropsychology*, 18 (2), 237-272.
- Stiles, J. (2001). Spatial cognitive development. In C.A. Nelson & M. Luciana (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 399-414). Cambridge, MA: MIT Press.
- Stiles, J., Bates, E. A., Thal, D., Trauner, D. A., & Reilly, J. (2002). Linguistic and spatial cognitive development in children with pre- and perinatal focal brain injury: A ten-year overview from the San Diego longitudinal project. In M. H. Johnson, Y. Munakata, & R. O. Gilmore (Eds.), *Brain Development and Cognition: A Reader* (Vol. 2, pp. 272-291). Malden, MA: Blackwell.
- Stiles, J., Bates, E. A., Thal, D., Trauner, D., and Reilly, J. (1998). Linguistic, cognitive and affective development in children with pre- and perinatal focal brain injury: A ten year overview from the San Diego longitudinal project. In C. Rovee-Collier, L. P.

-
- Lipsitt, and H. Hayne, (Eds.), *In Advances in Infancy Research* (pp. 131–164). Ablex, Stamford, CT.
- Stiles, J., Delis, D. C., & Tada, W. (1991). Global-local processing in preschool children. *Child development*, 18, 1258-1275.
- Stiles, J., Moses, P., and Paul, B. (2005). Cognitive development following early brain injury: evidence for neural adaptation. *Trends in Cognitive Science*, 9 (3), 136-143.
- Stiles, J., Moses, P., Passarotti, A., & Dick, F. (2003a). Exploring developmental change in the neural bases of higher cognitives functions: The promise of functional magnetic resonance imaging. *Developmental Neuropsychology*, 24 (2 & 3), 641-668.
- Stiles, J. and Nass, R. (1991) Spatial grouping activity in young children with congenital right or left hemisphere brain injury. *Brain and Cognition*, 15, 201–222.
- Stiles, J., Reilly, J., Paul, B., & Moses, P. (2005). Cognitive development following early brain injury: Evidence for neural adaptation. *Trends in Cognitive Sciences* 9 (3), 136 -143.
- Stiles, J., & Stern, C. (2001). Developmental change in spatial cognitive processing: Complexity effects and block construction performance in preschool children. *Journal of Cognition and Development*, 2 (2), 157-187.
- Stiles, J., & Tada, W. L. (1996). Developmental change in children's analysis of spatial patterns. *Developmental Psychology*, 32 (5), 951-970.
- Stiles, J., Trauner, D., Engel, M., & Nass, R. (1997). The development of drawing in children with congenital focal brain injury: Evidence for limited functional recovery. *Neuropsychologia*, 35, 299–312.
- Stoffer, T. H. (1994). Attentional zooming and the global-dominance phenomenon: effects of level-specific cueing and abrupt visual onset. *Psychological Research*, 56 (2), 83-98.
- Strauss, M. S., & Curtis, L. (1981, April). Infant perception of patterns differing in goodness of form. *Paper presented at the Meeting of the Society for Research in Child Development*, Boston.
- Sylvester, C. Y., Wager, T. D., Lacey, S.C., Hernandez, L., Nichols, T. E, Smith, E.E., & Jonides, J. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia* 41, 357–370.
- Tada, W. L., & Stiles, J. (1996). Developmental change in children's analysis of spatial patterns. *Developmental Psychology*, 32 (5), 951-970.
- Tada, W. L., Stiles-Davis, J. (1989). Children's analysis of spatial patterns : An assessment of their « errors » in copying geometric forms. *Cognitive Development*, 4, 177-195.
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Assoku, E. L., & Stein, J. F. (2000). Visual motion perception in dyslexia: Evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38, 935-943.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1975). Developmental aphasia: The perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*, 13, 69-74.
- Tanaka, H., Onoe, H., Tsukada, H. & Fujida, I. (2001). Attentional modulation of neural activity in the macaque inferior temporal cortex during global and local processing.

- Neuroscience Research*, 39 (4), 469-472.
- Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: An fMRI study. *NeuroReport*, 12 (2), 299-307.
- Thach, W. T. (1996). On the specific role of the cerebellum in motor learning and cognition : Cues from PET activation and lesion studies in man. *Brain and Behavioral Sciences* 19 (3), 411-431.
- Thal, D. J., Marchman, V., Stiles, J., Aram, D., Trauner, D., Nass, R., & Bates, E. (1991). Early lexical development in children with focal brain injury. *Brain Language*, 40, 491-527.
- Theeuwes, J., & Kooi, F. L. (1994). Parallel search for a conjunction of contrast polarity and shape. *Vision Research* 34 (22), 3013-3016.
- Tipper, S. P., Bourque, T. A., Anderson, S. H., & Brehaut, J. C. (1989). Mechanisms of attention: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 353-378.
- Titchener, E. (1909). *Experimental psychology of the thought process*. New York: Macmillan.
- Towse, J. N., & Hitch, G. J. (1996). Performance demands in the selection of objects for counting. *Journal of Experimental Child Psychology*, 61, 67-79.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40 (1), 201-237.
- Treisman, A. (1998). Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London – Series B: Biological Sciences*, 353, 1295 – 1306.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14 (1), 107-114.
- Turkewitz G. 1988. A prenatal source for the development of hemispheric specialization. In: Molfese DL, Segalowitz SJ, editors. *Brain lateralization in children: developmental implications* (pp 73-81). New York: Guilford Press. p 73–81.
- Valdois, S. (1996a). Les dyslexies développementales. In S. Carbonnel, P. Gillet, M. D. Martory, & S. Valdois (Eds.), *Approche cognitive des troubles de la lecture et de l'écriture* (pp. 33-48). Marseille : Solal.
- Valdois, S. (1996b). A case study of developmental surface dyslexia and dysgraphia. *Brain and Cognition*, 32, 229-231.
- Valdois, S. (2000). Pathologies développementales de l'écrit. In M. Kail a M. fayol (Eds.), *Acquisition du langage* (pp. 247-278). Paris : Presses Universitaires de France.
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentionnal disorder. *Dyslexia*, 10 (4), 339-369.

- Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An interdisciplinary Journal*, 16, 541-572.
- Valdois, S., Gérard, C., Vanault, P., & Dugas, M. (1995). Peripheral developmental dyslexia: A visual attentional account ? *Cognitive Neuropsychology*, 12 (1), 31-67.
- Valdois, S., & Launay, L. (1999). Evaluation et rééducation cognitives des dyslexies développementales : illustration à partir d'une étude de cas. In P. Azouvy, D. Perrier, M. Van der Linden (Eds.), *La rééducation en neuropsychologie : études de cas* (pp. 95-115). Marseille : Solal.
- Van Giffen, K., & Haith, M. M. (1984). Infant visual response to Gestalt geometric forms. *Infant Behavior & Development*, 7, 335-346.
- Van Kleeck, M. H. (1989). Hemispheric differences in global versus local processing of hierarchical visual stimuli by normal subjects: New data and a meta-analysis of previous studies. *Neuropsychologia*, 27 (9), 1165-1178.
- Vargha-khaden, F., Isaacs, E. B., Papaleloudi, H., Polkey, E., & Wilson, J. (1991). Development of language in six hemispherectomized patients. *Brain*, 114, 473-495.
- Versace, R., & Tiberghien, G. (1988). Sensitivity of cerebral hemispheres to the local and global components of verbal and non-verbal stimuli. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 8, 125-137.
- Vicari, S., Stiles, J., Stern, C. and Resca, A. (1998). Spatial grouping activity in children with early cortical and subcortical lesions. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40, 90-94.
- Vidyasagar, T. R. (2004). Neural underpinning of dyslexia as a disorder of visuo-spatial attention. *Clinical and experimental Optometry*, 87 (1), 4-10.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (1999). Impaired visual search in dyslexia relates to the role of the magnocellular pathway in attention. *Neuroreport*, 10 (6), 1283-1287.
- Vinckenbosch, E, Robichon, F., & Eliez, S. (2005). Gray matter alteration in dyslexia: Converging evidence from volumetric and voxel-by-voxel MRI analyses. *Neuropsychologia*, 43, 324-331.
- Visser, T. A. W., Boden, C., & Giaschi, D. E. (2004). Children with dyslexia: Evidence for visual attention deficits in perception of rapid sequences of objects. *Vision Research*, 44, 2521-2535.
- Volberg, G., & Hübner, R. (2004). On the role of response conflicts and stimulus position for hemispheric differences in global/local processing: An ERP study. *Neuropsychologia*, 42, 1805-1813
- Volberg, G., & Hübner, R. (in press-a). Deconfounding the effects of congruency and task difficulty on hemispheric differences in global/local processing. *Experimental Psychology*,
- Volberg, G., & Hübner, R. (2006). Hemispheric differences for the integration of stimulus levels and their contents: Evidence from bilateral presentations. *Perception and Psychophysics*,
- Von Aster, M., & Remschmith, H. (1987). Functional hemispheric asymmetry in children

- with hypersynchronous activity in the EEG. A tachistoscopic study using visuolinguistic stimulus material. *Zeitschrift für Kinder und Jugendpsychiatrie*, 15 (1), 18-28.
- Vurpillot, E., Ruel, J., & Castrec, A. (1977). L'organisation perceptive chez le nourrisson : réponse au tout ou à ses éléments. *Bulletin de Psychologie*, 327, 396-405.
- Wada, J. A., Clarke, R., Hamm, A. (1975). Cerebral asymmetry in humans. *Archives of neurology*, 32, 239-246.
- Ward, L. M. (1982). Determinants of attention to local and global features of visual forms. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 8, 562-581.
- Ward, T. B., & Vela, E. (1986). Classifying color materials: Children are less holistic than adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 42, 273-302.
- Warrington, E. K., & Taylor, A. M. (1973). The contribution of the right parietal lobe to object recognition. *Cortex*, 9, 152-164.
- Wasik, H., & Slavin, R. (1993). Preventing early reading failure with one-to-one tutoring: A review of five programs. *Reading research Quarterly*, 28, 179-200.
- Watt, R.J. & Morgan, M. J. (1983). Mechanisms responsible for the assessment of visual location : theory and evidence. *Vision Research*, 23, 97-109.
- Weissman, D. H., Gopalakrishnan, A., Hazlett, C. J., & Woldorff, M. G. (2004). Dorsal anterior cingulate cortex resolves conflict from distracting events by boosting attention toward relevant events. *Cerebral Cortex*, 15 (2), 229-237.
- Weissman, D. H., Mangun, G. R., & Woldorff, M. G. (2002). A role for top-down attentional orienting during interference between global and local aspects of hierarchical stimuli. *NeuroImage*, 17, 1266-1276.
- Weissman, D. H., & Woldorff, M. G. (2005). Hemispheric Asymmetries for Different Components of Global/Local Attention Occur in Distinct Temporo-parietal Loci. *Cerebral Cortex*, 15, 870-876.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre der Gestalt II, Psychologische Forschung, 4, 301-350. Translation published as Laws of organisation in perception forms, in W. Ellis (1938), *A Source book of gestalt psychology* (pp. 71-88). London: Routledge and Kegan.
- Wertheimer, M. (1967). Gestalt theory. In W. D. Ellis (Ed.), *A source book of Gestalt psychology* (pp. 1-11). New York: Humanities Press. (Original work published 1925).
- Whiteside, J. A., Elkind, D., & Golbeck, S. L. (1976). Effects of exposure duration on part-whole perception in children. *Child Development*, 47 (2), 498-501.
- Wijers, A. A., Been, P. H., & Romkes, K. S. (2005). Dyslexics show a deviant lateralization of attentional control: A brain potential study. *Neuroscience Letters*, 374 (2), 87-91.
- Wilkinson, D. T., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Büchel, Ch., & Dohan, R. J. (2001). Switching between the forest and the trees: Brain systems involved in local/global changed-level judgements. *Neuroimage*, 13, 56-67.
- Williams, B. R., Ponsse, J. S., Schachar, R. J., Logan, G. D., & Tannock, R. (1999).

- Development of inhibitory control across the life span. *Developmental Psychology*, 35 (1), 205-213.
- Wimmer, H., Hutzler, F., & Wiener, C. (2002). Children with dyslexia and right parietal lobe dysfunction : event-related potentials in reponse to words and pseudowords. *Neuroscience Letters*, 331, 211-213.
- Woldorff, M. G., Hazlett, C. J., Fichtenholtz, H. M., Weissman, D. H., Dale, A. M., Song, A. W. (2004) Functional parcellation of attentional control regions of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 149-165.
- Wolf, M. (1986). Rapid alternating naming in the developmental dyslexias. *Brain and Language*, 27, 360-379.
- Wolfe, J. M., & Bennett, S. C. (1997). Preattentive object files: Shapeless bundles of basic features. *Vision Research*, 37(1), 25-43.
- Wolfe, J. M., & DiMase, J. S. (2003). Do intersections serve as basic features in visual search ? *Perception*, 32, 645-656.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419-433.
- Wolfe, J. M., Franzel, S. L, & Cave, K. R. (1988). Parallel visual search for conjunctions of color and form. *Journal of the Optical Society of America*, 4, 95.
- Wright, M. J.; Burns, R. J., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (1990). Covert orientation of visual attention in Parkinson's disease: an impairment in the maintenance of attention. *Neuropsychologia*, 28, (2), 151-159
- Wundt, W. (1874). *Principle of physiological psychology*. Leipzig, Germany: Engelmann.
- Yamaguchi, S., Yamagata, S., & Kobayashi, S. (2000). Cerebral asymmetry of the "top-down" allocation of attention to global and local features. *Journal of Neuroscience*, 20, 1-5.
- Yassky, M. (1995). Gestalt theory. In W.D. Ellis (Eds), *A source book of gestalt psychology* (pp. 1-16). London : Routledge & Kegan Paul (Originally published in 1923).
- Young, A. W., & Ellis, A. W. (1985). Different methods of lexical access for words presented in the left and right visual hemifields. *Brain and Language*, 24, 326-358.
- Younger, B. A., & Cohen, L. B. (1984). Developmental change in infants' perception of correlations among attributes. *Child Development*, 57, 803-815.
- Younger, B. A., & Cohen, L. B. (1986). Developmental change in infants's perception of correlations among attributes. *Child Development*, 57, 803-815.
- Yovel, G., Yovel, I., & Levy, J. (2001). Hemispheric asymetries global and local visual perception: Effects of stimulus and task factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, 27, 1369-1385.
- Yovel, I., Revelle, W., & Mineka, S. (2005). Who sees trees before forest? The obsessive-compulsive style of visual attention. *Psychological Science*, 16, 123-129.
- Zaidel, E. (1986). Callosal Dynamics and rigth hemisphere language, in F. Leporé, M.. Ptito, H.Jasper (Eds), *Two Hemispheres. One Brain : Function of the corpus*

. New York, Liss Alan, 435-462.

Zelinsky, G. J., & Sheinberg, D. L. (1997). Eye movements during parallel/serial search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 244-262.

Zimmerman, P., Gondan, M., & Fimm, B. (2002). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung für Kinder (KITAP)*. Herzogenrath : Psytest.

Zorman, M. (2002). La dyslexie développementale : étude d'un cas. Communication orale aux XXXèmes Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation. Montpellier.

Annexes

Annexe 1

Méthode Dynamique avec boîtes pneumatiques			Méthode Dynamique avec boîtes pneumatiques surjoints			Méthode statique avec boîtes pneumatiques	
Caractéristiques	Appareil	Appareil	Caractéristiques	Appareil	Appareil	Intérieur	Extérieur
R.T.	13 ans 9 mois	8 ans 9 mois	R.T.	10 ans 9 mois	8 ans 9 mois	A.S.	D.E.
P.D.	10 ans 10 mois	7 ans 10 mois	P.D.	10 ans 9 mois	7 ans 9 mois	E.E.	M.C.
P.J.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	P.J.	10 ans 8 mois	8 ans 10 mois	M.D.	O.C.
E.S.	10 ans 10 mois	8 ans 11 mois	E.S.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	E.C.	P.S.G.
S.L.	8 ans 10 mois	7 ans 10 mois	S.L.	10 ans 10 mois	7 ans 10 mois	L.C.	E.S.
D.T.	10 ans 11 mois	8 ans 10 mois	D.T.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	E.S.	P.T.
M.C.	8 ans 10 mois	8 ans 10 mois	L.A.	10 ans	7 ans 10 mois	E.S.	O.C.
M.H.	8 ans 10 mois	7 ans 10 mois	L.A.	8 ans 10 mois	7 ans 10 mois	P.T.	E.T.
R.C.	10 ans 10 mois	8 ans 10 mois	M.C.	10 ans 9 mois	7 ans 10 mois	M.T.	E.D.
O.T.	10 ans 9 mois	10 ans 10 mois	O.T.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	P.H.	E.H.
A.T.	10 ans 9 mois	7 ans 10 mois	P.T.	10 ans 9 mois	7 ans 10 mois	E.S.	A.D.
S.L.	8 ans 10 mois	7 ans 10 mois	M.C.	10 ans 9 mois	7 ans 10 mois	E.S.	M.C.
A.C.	8 ans 10 mois	8 ans 10 mois	E.S.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	M.S.	P.H.
O.C.	10 ans 10 mois	8 ans 10 mois	O.T.	10 ans 9 mois	8 ans 10 mois	P.S.	E.S.

Annexe 2

Approche développementale et neuropsychologique de processus visuo-attentionnels : traitements global et local selon la catégorie

Enfants Dyslexiques avec troubles phonologiques			Enfants Dyslexiques sans troubles phonologiques			Norme enfants normaux en âge chronologique	
Initiales	Age Chrono	Age Lexique	Initiales	Age Chrono	Age Lexique	Initiales (Blue Text)	Initiales (Blue Dots)
A	12 ans 5 mois	7 ans 11 mois	V	12 ans 11 mois	9 ans 0 mois	B	A
F	10 ans 5 mois	7 ans 10 mois	K	9 ans 2 mois	7 ans 7 mois	K	M
J	12 ans 11 mois	8 ans 1 mois	W	12 ans 5 mois	9 ans 12 mois	B-D	E
E-B	11 ans 0 mois	8 ans 1 mois	U	11 ans 9 mois	8 ans 10 mois	L	M
L	14 ans	10 ans 8 mois	C	14 ans	11 ans	D	M
M	9 ans	7 ans 7 mois	R	9 ans 11 mois	8 ans 6 mois	D	M
G	13 ans 9 mois	8 ans 0 mois	S	11 ans 5 mois	8 ans 0 mois	L	M
E	13 ans 0 mois	8 ans 2 mois	T	10 ans	8 ans 3 mois	C	M
T-V	9 ans 10 mois	7 ans 11 mois	U	10 ans 7 mois	8 ans 11 mois	A	T
D-A	11 ans 0 mois	7 ans 2 mois	W	9 ans 2 mois	7 ans 2 mois	T	L
F	11 ans 9 mois	7 ans 10 mois	D	10 ans 2 mois	7 ans 11 mois	M	M
B, S	12 ans 8 mois	7 ans 6 mois	D	10 ans	7 ans 4 mois	V	A
D, J	9 ans 5 mois	6 ans 1 mois	D	12 ans 3 mois	8 ans 1 mois	A	P
S-A	11 ans 1 mois	7 ans 10 mois	V	10 ans 4 mois	7 ans 10 mois	T	M

Enfants Dyslexiques avec troubles phonologiques			Enfants Dyslexiques sans troubles phonologiques			Norme enfants normaux en âge lexical	
Items	Age Chrono	Age Lexique	Items	Age Chrono	Age Lexique	Initiales (Blue Text)	Initiales (Blue Dots)
A	13 ans 5 mois	7 ans 11 mois	V	12 ans 11 mois	9 ans 0 mois	D	D
G	13 ans 5 mois	8 ans 10 mois	K	9 ans 2 mois	7 ans 7 mois	M	P
J	13 ans 11 mois	8 ans 1 mois	E	12 ans 5 mois	9 ans 12 mois	B	K
L	11 ans 0 mois	8 ans 1 mois	U	11 ans 9 mois	8 ans 10 mois	R	L
E	11 ans	10 ans 8 mois	C	11 ans	11 ans	R	E
W	9 ans	6 ans 8 mois	D	9 ans 11 mois	8 ans 6 mois	P	C
C	13 ans 0 mois	8 ans 6 mois	R	10 ans 3 mois	8 ans 5 mois	S	A
D	13 ans 0 mois	8 ans 6 mois	T	11 ans	8 ans 3 mois	R	M
J	13 ans 10 mois	8 ans 11 mois	D	13 ans 2 mois	8 ans 11 mois	M	A
M	13 ans 6 mois	7 ans 2 mois	R	9 ans 6 mois	7 ans 5 mois	D	A
F	13 ans 6 mois	7 ans 10 mois	C	13 ans 3 mois	7 ans 11 mois	V	A
B	12 ans 8 mois	7 ans 6 mois	D	13 ans	7 ans 4 mois	R	T
D	9 ans 6 mois	8 ans 1 mois	M	13 ans 3 mois	8 ans 1 mois	T	D
S	14 ans 1 mois	7 ans 10 mois	V	13 ans 4 mois	7 ans 10 mois	T	P