

Approche computationnelle des mécanismes émotionnels : test de l'hypothèse de polarité

Présentée par

David Sander

Le 20 septembre 2002

Réalisée sous la direction du Professeur Olivier Koenig

« *L'émotion est-elle plus qu'un titre de chapitre ?* » Bentley (1928, p.17)¹

Jury : M. Jean-Claude Bougeant (examinateur) M. Michel Habib (rapporteur) M. Roland Jouvent (rapporteur) M. Olivier Koenig (directeur de la thèse) Mme Paula M. Niedenthal (examinatrice)

¹ « *Is emotion more than a chapter heading ?* » était le titre donné par I. M. Bentley à sa conférence lors du symposium « *Feeling and Emotion* » organisé en octobre 1927 au Collège de Wittenberg à Springfield (Ohio, USA). Bentley avait choisi ce titre pour dénoncer l'hégémonie de la théorie de W. James et de C. G. Lange dans les chapitres consacrés aux émotions des ouvrages du début du siècle dernier. Les actes de ce symposium ont été édités en 1928 (voir la bibliographie).

Table des matières

Introduction . .	1
La neuroscience cognitive . .	3
Les buts de la neuroscience cognitive . .	3
Les méthodes de la neuroscience cognitive .	4
La perspective évolutionniste .	6
L'esprit se réchauffe .	9
Chapitre 1. Modélisation des émotions .	11
Le système émotionnel en tant que système cognitif .	11
Emotions et autres phénomènes affectifs .	11
Les émotions en tant qu'objet d'étude . .	12
La relation (inclusive) émotion-cognition .	13
Emotions dans la nature et nature des émotions : Approche évolutionniste des émotions . .	14
Chapitre 2. Des Contraintes pour des Modèles . .	17
Contraintes fonctionnelles (CF) : les 3 E : Evaluation, Expression et Expérience .	17
Evaluation .	17
Expression . .	19
Expérience . .	20
Contraintes computationnelles (CC) . .	22
Au niveau d'entrée. .	22
Au niveau de l'interface .	23
Au niveau de sortie .	25
Contraintes neuronales (CN) .	27
(CN1) Asymétrie hémisphérique .	27
(CN2) Connectivité cérébrale et zones de convergences .	28
(CN3) La voie sous-corticale .	29

(CN4) Cartes somatosensorielles .	31
(CN5) Les patterns d'états internes sont informatifs .	32
(CN6) Les patterns d'états internes sont distinctifs .	32
Chapitre 3. Proposition d'un modèle computationnel des mécanismes émotionnels .	33
Le buffer somatosensoriel . .	34
Le sous-système d'appariement somatotopique . .	34
Le sous-système de pré-traitement de l'état interne . .	34
Le sous-système d'activation de patterns d'états internes .	35
Le sous-système de connexion stimulus-réponse .	36
La mémoire associative .	36
Le sous-système de génération d'instructions émotionnelles . .	37
Le sous-système d'exécution émotionnelle .	38
Une illustration .	38
Chapitre 4. Hypothèses : polarité-dépendance dans l'évaluation émotionnelle explicite et implicite . .	41
L'hypothèse de polarité . .	42
Evaluation automatique . .	45
Asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels . .	47
Hypothèse de l'hémisphère droit . .	48
Hypothèse de valence . .	49
Hypothèse des niveaux de traitement .	49
L'hypothèse des émotions primaires vs sociales . .	50
L'hypothèse d'activation antérieure asymétrique . .	51
L'hypothèse de valence revisitée . .	54
Conclusion concernant l'asymétrie hémisphérique .	55
Introduction aux expériences .	57
Chapitre 5. Expériences chez le sujet sain .	59
Expérience 1 : Expériences en champ visuel divisé. .	59
Expérience 1.1 : Traitement explicite de stimuli émotionnels .	60

Expérience 1.2 : Traitement implicite de stimuli émotionnels .	69
Expérience 1.3 : Contrôle d'un effet potentiel de la tâche . .	74
Expérience 1.4 : Contrôle d'un effet potentiel du contenu sémantique .	75
Expérience 1.5 : Contrôle d'un effet potentiel du contenu perceptif .	77
Discussion générale de l'Expérience 1 .	80
Expérience 2 : IRMf événementielle .	81
Méthode . .	84
Résultats .	88
Discussion .	96
Chapitre 6. Expériences chez le patient . .	103
Expérience 3 : Emotions irrépressibles et amygdale .	103
Présentation du cas FC . .	103
Méthode . .	107
Résultats .	110
Discussion .	113
Expérience 4 : Dissociations intra- et inter-patients .	119
Evaluation explicite chez les patients DT et NG .	119
Evaluation implicite chez les patients DT et NG .	124
Discussion générale de l'Expérience 4 .	127
Expérience 5 : Troubles de l'évaluation émotionnelle dans la schizophrénie . .	128
Evaluation explicite .	130
Evaluation implicite .	136
Discussion générale de l'Expérience 5 .	140
Discussion Générale et Conclusion . .	141
Polarité-dépendance dans l'évaluation explicite . .	142
Implication hémisphérique différentielle en fonction de la polarité .	142
Région cérébrale polarité-dépendante .	142
Lésion différentielle de mécanismes polarité-dépendants . .	143
Effet différentiel d'un facteur sur des mécanismes polarité-dépendants . .	143

L'évaluation : mode de traitement <i>par défaut</i> .	143
Effet du facteur polarité dans l'évaluation implicite .	143
Avantage hémisphérique induit par la valeur émotionnelle . .	144
L'amygdale impliquée dans l'évaluation involontaire . .	144
Polarité-dépendance dans l'évaluation implicite . .	144
Lésion différentielle de mécanismes polarité-dépendants . .	145
Spécificité de l'évaluation explicite par rapport à l'évaluation implicite . .	145
Réseau cérébral spécialisé dans l'évaluation explicite .	145
Dissociation intra-patient .	145
Interprétation de la validation de l'hypothèse de polarité dans le cadre du modèle .	146
Perspectives : la complexité des émotions . .	149
La neuroscience cognitive, pilier des sciences affectives .	150
L'automatisme : un problème et non une solution .	151
Vers une neuroscience cognitive de l' <i>appraisal</i> . .	152
Références .	157

Introduction

L'émotion nous plongerait-elle dans un monde magique ? Selon la théorie des émotions de Sartre (1938), la question se doit d'être posée. Il y répond par l'affirmative en décidant « **d'appeler émotion une chute brusque de la conscience dans le magique** » (p. 62). Les arguments développés dans ce manuscrit nous conduiront sur une voie tout autre que celle de la magie, qui suivra les deux objectifs de notre projet doctoral.

Les trois chapitres inauguraux sont dédiés à notre premier objectif qui était de montrer qu'une certaine approche des mécanismes émotionnels, celle de la neuroscience cognitive, permet de soutenir que les émotions obéissent à des contraintes qui sont de même nature que celles qui régissent les autres fonctions cognitives. Selon cette approche, les émotions ne sont pas considérées simplement comme des modes particuliers d'existence de la conscience mais sont étudiées, à l'instar d'autres mécanismes cognitifs, dans toute leur complexité (Sander & Koenig, sous presse).

Les chapitres suivants sont consacrés à notre second objectif qui était de mettre à profit l'approche interdisciplinaire de la neuroscience cognitive pour aborder expérimentalement la complexité des émotions. Deux axes ont été suivis : le premier était celui de la recherche de sous-systèmes émotionnels polarité-dépendants. En effet, une question prioritaire dans l'analyse computationnelle des mécanismes émotionnels est de déterminer si la mise en oeuvre de certains sous-systèmes émotionnels dépend de la polarité (positive vs négative) du stimulus traité. Le second axe consistait à étudier le mode de traitement explicite et/ou implicite des différents sous-systèmes émotionnels. Un objectif particulier était de déterminer si l'évaluation émotionnelle d'un événement est un

mécanisme automatique ou si, au contraire, ce mécanisme est susceptible d'être modulé en fonction des contraintes attentionnelles.

Précisément, nous avons choisi de développer notre thèse selon le plan suivant.

Dans un premier temps, le prolongement de cette introduction vise à présenter le cadre métathéorique et épistémologique dans lequel se sont inscrites notre réflexion théorique et notre démarche expérimentale.

Dans le premier chapitre, seront présentés les éléments qui nous semblent déterminants pour fixer un cadre théorique propre à sous-tendre une modélisation des émotions.

Le chapitre 2 développe le cadre théorique en présentant un ensemble de contraintes fonctionnelles, computationnelles et neuronales jugées pertinentes dans l'élaboration d'un modèle computationnel des émotions.

Le chapitre 3 consiste à proposer un tel modèle en caractérisant différents sous-systèmes émotionnels spécialisés et en spécifiant l'organisation et les interactions de ces sous-systèmes.

Le chapitre 4 est consacré, d'une part, à la justification des deux hypothèses théoriques défendues et, d'autre part, à la présentation des paradigmes expérimentaux choisis pour les tester. La première hypothèse, « l'hypothèse de polarité », propose que certains mécanismes émotionnels soient différentiellement sensibles aux événements positifs vs négatifs. La seconde, « l'hypothèse d'automatisme », propose que l'évaluation émotionnelle puisse être effectuée dans un mode automatique.

Le chapitre 5 est dédié à la présentation des expériences réalisées pour tester nos hypothèses. L'approche expérimentale choisie reflète l'interdisciplinarité inhérente à l'épistémologie de la neuroscience cognitive. Ainsi, cinq expériences sont présentées dans ce chapitre :

.
une étude comportementale utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé chez des participants sains ;

.
une étude d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) événementielle chez des participants sains ;

.
une étude impliquant un patient présentant une hyperperfusion amygdalienne ;

.
une étude impliquant des patients ayant une lésion cérébrale focale identifiée ;

.
et, finalement, une étude impliquant des patients schizophrènes.

Enfin, le dernier chapitre est réservé à la discussion des résultats obtenus, notamment en relation avec le modèle proposé. Il s'agit également de suggérer des perspectives

concernant la complexité des émotions.

La neuroscience cognitive

« *The approach is fairly straightforward : take a consistent description of some behavioral or cognitive phenomenon, (...), along with a description of what may be relevant neural constraints, and squeeze.* » (Montague & Dayan, 1998)

Dans cette section, nous souhaitons caractériser l'épistémologie de la neuroscience cognitive en exposant ses buts et ses méthodes.

Les buts de la neuroscience cognitive

Les buts de la neuroscience cognitive sont ambitieux. La vue classique est que **« *Cognitive neuroscience studies are beginning the task of integrating questions of human cognition from neurons through behavior* »** (Posner & DiGirolamo, 2000, p.881). En effet, un des objectifs principaux de la neuroscience cognitive est de lier les différents niveaux d'analyse, comme cela est défendu par Tooby et Cosmides (2000, p.1167) lorsqu'ils expliquent que **« *the task of cognitive neuroscience is to map the information-processing structure of the human mind and to discover how this computational organization is implemented in the physical organization of the brain.* »** Plus précisément, il nous semble qu'un défi pour la neuroscience cognitive est d'approcher le système cognitif en étudiant les mécanismes cognitifs et leurs interactions de façon biologiquement plausible dans le but d'élaborer des modèles computationnels. La notion de « plausibilité biologique » signifie que l'élaboration d'un modèle cognitif est contraint par les connaissances concernant le système nerveux. Ceci implique que les modèles qui ne prennent en considération que l'aspect fonctionnel ou que l'aspect cérébral ne sont pas des produits de la neuroscience cognitive. La notion de « modèle computationnel » fait référence au fait qu'une procédure efficace d'élaboration de modèle est d'effectuer une analyse computationnelle, c'est-à-dire une analyse logique des qualités requises par un système pour effectuer une tâche donnée (voir Koenig, 1998 ; Koenig & Michelon, 1999). Précisément, il est possible de définir cette analyse, dans le cadre de la neuroscience cognitive, comme **« *a logical exercise aimed at determining what processing subsystems are necessary to produce a specific behavior, given specific input* »** (Kosslyn & Koenig, 1995, p.41).

Ainsi, les contraintes computationnelles et biologiques impliquent que le but de la neuroscience cognitive n'est pas de construire n'importe quel modèle pouvant efficacement simuler un ensemble de comportements particuliers mais de construire un modèle cognitif compatible tout à la fois avec les données d'expériences comportementales, d'expériences de simulations et de données sur le fonctionnement cérébral. Adopter une telle perspective offre au moins deux avantages.

En premier lieu, un modèle contraint biologiquement et computationnellement permet de tester des hypothèses concernant le système cognitif normal. Ainsi, théoriquement, un

tel modèle n'est pas seulement une figure explicite qui décrit l'état de l'art des connaissances concernant certains systèmes cognitifs mais constitue également un outil qui peut conduire à poser de nouvelles hypothèses sur la cognition naturelle. Si un modèle computationnel est suffisamment explicite, alors il peut permettre de programmer des modèles informatiques qui simulent les opérations effectuées par les sous-systèmes. Par conséquent, ces modèles aspirent à être implémentés notamment grâce à l'utilisation de réseaux de neurones artificiels ou d'agents autonomes. Comme le note Cañamero (2001, p.527), « ***autonomous agents provide an excellent testbed to study the nature and adaptative value of emotions, with a synthetic value that nicely complements analytic studies of natural emotions*** ».

En second lieu, les modèles computationnels inspirés de la cognition naturelle développés en neurosciences cognitives peuvent permettre de construire des systèmes artificiels plus performants. En effet, les organismes naturels résolvent les problèmes d'une façon qui peut représenter une source d'inspiration puissante. Une telle inspiration a, par exemple, permis l'apparition des réseaux de neurones artificiels dans le domaine de l'intelligence artificielle. Un principe fondamental qui sous-tend l'attrait de l'intelligence artificielle pour la cognition naturelle est que les artefacts qui simulent un mécanisme naturel devraient permettre de résoudre les mêmes problèmes que ceux que résolvent les mécanismes naturels. Puisque les systèmes naturels ne sont pas optimisés pour de nombreuses tâches, il est possible d'améliorer les systèmes artificiels d'inspiration naturelle : l'évolution des espèces n'est pas achevée et il existe de multiples alternatives que peut choisir un système artificiel pour être plus efficace que l'homme moderne. Par exemple, la procédure par laquelle un ordinateur calcule le résultat de la multiplication « 234x452 » est plus rapide et probablement plus précise que la procédure que nous utilisons manuellement. Il n'aurait pas été judicieux d'attendre de savoir comment le cerveau humain calcule, ce que la communauté scientifique commence seulement à comprendre (voir Dehaene et al., 1999), avant de construire le premier calculateur. Avec cette perspective, il a été proposé qu'une méthode pour résoudre le problème de la « complexité des émotions » serait de créer des artefacts qui expriment des émotions reconnaissables, sans considérer la façon dont ces émotions sont élaborées (voir pour discussion, Cañamero, 2001). Mais, la neurosciences cognitives ne se résigne pas à accepter ce type de modèle d'obédience béhavioriste qui a une visée de modélisation se situant aux niveaux de l'entrée et de la sortie, mais pas au niveau représentationnel. Dans le but de modéliser le niveau représentationnel sous la forme d'une architecture fonctionnelle, la neurosciences cognitive pratique le « dissectionnisme fonctionnel » sur la base d'informations provenant de diverses méthodes qui sont présentées ci-après.

Les méthodes de la neurosciences cognitive

Bien que les approches des cognitivistes restent généralement confinées à une discipline, le fait que la neurosciences cognitive et, plus largement, les sciences cognitives constituent une communauté scientifique établie, contribue à ce que des théories fondées sur plusieurs approches méthodologiques soient proposées. Le principe que nous avons suivi dans notre travail est de faire converger les résultats des différentes méthodes

expérimentales pour s'autoriser à tirer des conclusions sur le fonctionnement du système émotionnel. Les méthodes principales de la neuroscience cognitive, que nous avons tenté de mettre à profit pour étudier les mécanismes émotionnels, proviennent d'un ensemble de champs de recherche :

La psychologie expérimentale

La psychologie expérimentale est la discipline principale permettant de tester l'organisation fonctionnelle des mécanismes cognitifs chez le sujet sain. Pour cela, certains indices comportementaux considérés comme sensibles sont comparés dans différentes conditions expérimentales construites pour activer de façon différentielle certains composants du système cognitif. Dans notre travail de recherche, la psychologie expérimentale a été considérée plus comme méthode (la méthode expérimentale) que comme discipline.

Une série d'expériences en champ visuel divisé que nous avons réalisée s'inscrivait dans le champ de la psychologie expérimentale (Sander & Koenig, 1999a, 1999b, soumis).

La neuropsychologie expérimentale

La neuropsychologie expérimentale applique principalement les méthodes de la psychologie expérimentale à l'étude des troubles cognitifs et comportementaux de patients ayant une lésion cérébrale focale (p.ex., Farah, 2000a). Dans le cadre de la neuroscience cognitive, cette discipline permet d'établir des conclusions concernant le système cognitif normal à partir de l'étude du système cognitif lésé.

Une méthode neuropsychologique clé qui permet de suggérer l'existence de sous-systèmes cognitifs distincts est la recherche d'une double dissociation (voir p.ex., Seron et Jeannerod, 1994). Cette méthode a été utilisée dans le cadre d'une étude testant deux patients ayant des lésions cérébrales, et des troubles émotionnels, différents (Koenig, Laurent, Puel, Thomas-Anterion, & Sander, 2001 ; Sander, Koenig, Thomas-Anterion, & Laurent, 2001a, 2001b, en préparation).

Une technique de la neuropsychologie qui s'est avérée particulièrement fructueuse est l'étude de cas unique. Nous avons appliqué cette technique à un patient présentant une hyperperfusion amygdalienne (Koenig, Laurent, Puel, Thomas-Anterion, & Sander, 2001 ; Sander, Koenig, & Puel, en préparation).

La psychopathologie

La psychopathologie, en tant que domaine de recherche, n'est entrée que récemment dans la sphère des disciplines relevant de la neuroscience cognitive (p.ex. Frith, 1992 ; voir aussi Van der Linden et al., 2000). Ce retard de la psychopathologie est probablement dû à deux facteurs. Le premier est que la psychanalyse a longtemps été le cadre dominant d'analyse des maladies mentales. Le second est que les dysfonctionnements cérébraux responsables de certaines pathologies sont encore mal identifiés. Cependant, l'analyse des pathologies mentales peut fournir des indices sur le

fonctionnement cognitif normal, en particulier lorsque la démarche de la neuropsychologie est utilisée (voir Lechevalier & Eustache, 1994). Par exemple, et sans pour autant adopter un point de vue localisationniste, le fait que certains mécanismes soient atteints dans une pathologie donnée alors que d'autres restent intacts suppose une relative indépendance de ces mécanismes. L'étude de troubles émotionnels, telle que l'athymormie, a pu être abordée dans le cadre de la psychopathologie (voir Jouvent & Carton, 1994) et de la neuropsychologie (voir Habib, 1998b). Comme le soulignent Jouvent, Dubal et Pierson (1999, p. 78), dans une logique physiopathologique, **« la démonstration scientifique nécessite d'opérer un saut sémiologique : la description clinique ne peut plus se suffire du seul niveau du comportement et doit s'intéresser à ceux de la psychologie expérimentale. »**

En adoptant cette approche, nous avons réalisé une étude chez des patients schizophrènes (Sander, Koenig, Georgieff, & Franck, en préparation).

L'imagerie cérébrale fonctionnelle

L'imagerie cérébrale, principalement incarnée par l'électroencéphalographie (EEG), la magnétoencéphalographie (MEG), la Tomographie par Emission de Positrons (TEP) et l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), est une méthode dont l'utilisation ne cesse de croître (voir Dehaene, 1998 ; Toga & Mazziotta, 2000). Ces techniques permettent de mettre en relation les fonctionnements cérébral et cognitif avec une haute résolution temporelle (EEG, MEG) ou spatiale (IRMf) ; elles s'imposent d'ailleurs comme des outils clés au service de la psychologie expérimentale (Houdé, 1998).

Dans notre travail, la technique d'IRMf événementielle a été utilisée dans une étude chez des participants sains (Sander, Koenig, Baciú, Ojeda, Buron, Collomb, & Segebarth, soumis).

Le connexionnisme

Le connexionnisme, que l'on peut définir ici comme la science des neurones artificiels connectés, est également fondamental pour la neuroscience cognitive. En effet, simuler le fonctionnement de réseaux de neurones permet de mieux comprendre les computations effectuées par le système cognitif (O'Reilly, 2000). Un apport notable de la simulation par réseaux de neurones artificiels est qu'elle renseigne sur l'adéquation computationnelle d'un modèle du fonctionnement cognitif. Le connexionnisme représente à la fois un domaine de recherche et un des principaux paradigmes de la neuroscience cognitive. Le connexionnisme, en tant que paradigme fondateur, est au coeur de notre réflexion théorique (Sander & Koenig, sous presse).

La perspective évolutionniste

La perspective évolutionniste en sciences cognitives s'est principalement développée

depuis le début des années 1980 autour de la psychologie évolutionniste. Cette « *nouvelle science de l'esprit* » telle qu'elle est désignée par Buss (1999) et Cosmides et Tooby (2002) s'est fixée un programme particulièrement ambitieux qui, nous semble-t-il, rejoint celui de la neuroscience cognitive. Le paradigme évolutionniste considère que l'esprit de l'homme moderne est composé de mécanismes cognitifs qui ont été façonnés par la sélection naturelle, au sens néo-darwinien, pour résoudre des problèmes adaptatifs auxquels nos ancêtres ont été confrontés. Ainsi l'étude de la façon dont l'esprit humain a évolué serait une voie ouverte vers la compréhension de l'architecture fonctionnelle des différents sous-systèmes cognitifs, chacun étant engagé dans un domaine computationnel spécifique.

L'adoption de ce paradigme ne dépend pas des options cognitivistes ou connexionnistes d'un cogniticien mais de sa conception matérialiste ou, au contraire, créationniste du monde. Ainsi, adopter un point de vue matérialiste sur la relation corps-esprit conduit à considérer que l'esprit est ce que fait le cerveau. De plus, le refus du créationnisme, conduit à considérer que le cerveau, à l'instar des autres organes, a été façonné par l'évolution. La prise en compte de ces deux prémisses conduit à accepter leur conclusion logique qui est que l'esprit a été façonné par l'évolution (Cummins & Cummins, 1999).

La psychologie évolutionniste et l'approche analytique de la neuroscience cognitive se rejoignent dans leur objectif commun d'élaborer des modèles computationnels. Cette insistance sur la notion de computation est notamment justifiée par les propositions de Tooby et Cosmides (1995) selon lesquelles la fonction évolutionniste du cerveau est la régulation adaptative du comportement et de la physiologie sur la base des *informations* dérivées du corps et de l'environnement. Selon ces auteurs, le cerveau n'accomplit pas de service mécanique, métabolique, ou chimique significatif pour l'organisme. Au contraire, la fonction du cerveau serait de nature purement informationnelle, computationnelle et régulatoire. Ce postulat évolutionniste, tel que nous l'admettons, n'est pas à confondre avec le cognitivisme ou le computo-symbolisme (voir Andler, 1992). La notion de computation (naturelle) de l'information posée ici est plutôt à rapprocher du paradigme connexionniste selon lequel chaque neurone biologique est à considérer comme une unité computationnelle.

Comme le souligne Faucher (1999), notamment dans le domaine de l'étude des émotions, l'approche évolutionniste se distingue « ***du Modèle Standard en Sciences Sociales (MSSS), selon lequel l'esprit humain est constitué d'un nombre restreint de processus généraux permettant de résoudre indifféremment l'ensemble de ces problèmes*** ». Rappelons, qu'à l'opposé de ce concept de « processus généraux », s'était déjà développée dans l'Europe de la première moitié du XIX^{ème} siècle une « science des localisations cérébrales », la phrénologie de F. J. Gall (voir Renneville, 2000 pour une nouvelle histoire de ce « langage des crânes »). La Figure 1.1 représente le type d'organisation que supposait Gall; à chaque bosse correspondait une habileté mentale, comme par exemple l'étonnement ou l'imitation. Cet engouement pour la localisation de fonctions mentales spécialisées n'avait pas échappé aux esprits éclairés de l'époque. Ainsi, Guy de Maupassant (1887) se demandait dans *Le Horla* ' ***Ne se peut-il pas qu'une des imperceptibles touches du clavier cérébral se trouve paralysée chez moi ? (...)***

Les localisations de toutes les parcelles de la pensée sont aujourd'hui prouvées '. Il faut tout de même admettre que l'erreur de Gall et de son école a servi la psychologie. En effet, on peut reconnaître dans les ambitions localisationnistes de la phrénologie les prémises d'une approche qui vise à identifier les spécialisations computationnelles des réseaux de neurones (voir aussi Uttal, 2001).



Fig. 1.1. Une représentation phrénologique des fonctions mentales.

Comme le décrit Jeannerod (1998), la pensée évolutionniste en neuroscience a, dès le XIXème siècle, proposé que l'esprit ne soit pas constitué de mécanismes généraux mais de mécanismes spécialisés. Cet auteur explique l'état de la pensée évolutionniste à cette époque en rapportant que « ***l'analogie soigneusement construite par Spencer entre un organisme et la société était fondée sur la notion de 'division du travail' : les individus, comme les organes, se spécialisent, et cette spécialisation est le fruit d'une évolution au cours du temps. Simultanément, et d'une façon complémentaire, les individus ou les organes spécialisés s'intègrent à un ensemble plus large, ils sont dans un état 'de dépendance mutuelle' : socialement, 'le point de départ de l'évolution est une tribu dont les membres accomplissent tous les mêmes actions,***

chacun pour soi, et le point d'arrivée une communauté dont les membres accomplissent chacun des actions différentes, les uns pour les autres' ».

Un siècle et demi plus tard, la position forte du paradigme évolutionniste en neurosciences cognitive peut être exemplifiée par Gazzaniga (1997) qui propose de considérer le cerveau humain comme une collection de systèmes spécialisés, souvent très complexes, chacun construit par la sélection naturelle pour permettre à notre espèce de prendre de meilleures décisions sur la façon d'augmenter notre succès reproductif. Un défi encore plus ambitieux que l'identification de ces systèmes spécialisés sera de déterminer la nature de leurs interactions ainsi que leur mode d'intégration dans l'esprit conscient.

L'esprit se réchauffe

Depuis les années 1950, les cognitivistes sont longtemps restés dans une optique écartant les émotions de leurs intérêts. Leur mode classique de pensée, profondément ancré dans un cartésianisme scientifiquement correct, les conduisait à concevoir le système cognitif comme l'incarnation d'un engrenage qui avait la température de ses mécanismes : le sang froid de la raison. Jusqu'à la fin des années 1980, pour des raisons que nous développerons dans le prochain chapitre, les émotions ont été très peu étudiées en sciences cognitives. Actuellement, les émotions sont largement considérées comme relevant elles-mêmes des engrenages de la cognition et font, par conséquent, l'objet d'études en neurosciences cognitive.

Ainsi, des ouvrages tels que « *Cognitive Neuroscience of Memory* » de Nilsson et Markowitsch (1999), « *The Cognitive Neuroscience of Action* » de Jeannerod (1997), « *The Cognitive Neuroscience of Face Processing* » de Kanwisher et Moscovitch (2000), « *Cognitive Neuroscience of Attention* » de Richards (1998), ou encore « *The Cognitive Neuroscience of Vision* » de Farah (2000b) sont récemment parus sur les thèmes classiques et fondateurs de la neurosciences cognitive. Il faut cependant souligner que l'apparition de l'ouvrage « *Cognitive Neuroscience of Emotion* » édité par Lane et Nadel (2000), de l'ouvrage « *Understanding other minds : perspectives from developmental cognitive neuroscience* » de Baron-Cohen (2000) et, plus récemment encore, l'ouvrage « *Cognitive Neuroscience of Consciousness* » édité par Dehaene (2002) témoignent selon nous d'un élan d'intérêt de la neurosciences cognitive pour l'étude de l'esprit que l'on pourrait qualifier de *chaud*. Cette évolution en neurosciences cognitive d'un « esprit froid » désincarné vers celle d'un « esprit chaud » émotionnel, social et conscient tient probablement au développement des théories scientifiques concernant l'inscription du corps dans la cognition (Embodied Cognition, voir Clark, 1999), la cognition située (p.ex., Clancey, 1997) et la cognition sociale (p.ex., Ochsner & Schacter, 2000).

Il apparaît que cette évolution permet, et nous essayerons de le démontrer dans les chapitres suivants, de mettre à profit la richesse des concepts et méthodes de la neurosciences cognitive pour aborder la complexité des émotions.

Chapitre 1. Modélisation des émotions

Le système émotionnel en tant que système cognitif

« It is ironic that the duality between reason and emotion that has been perpetuated through the ages is a distinction that is not honored by the architecture of the brain. » Davidson (2000a, p. 91)

La première étape descriptive dans l'étude des émotions devrait être définitionnelle. Cependant, des difficultés non résolues sont rencontrées à la fois (i) dans l'entreprise visant à séparer les émotions des autres phénomènes affectifs et (ii) dans l'établissement d'une définition des émotions en tant qu'objet d'étude.

Emotions et autres phénomènes affectifs

Les émotions sont souvent décrites dans un cadre incluant d'autres phénomènes affectifs tels que les affects, les sentiments (*feelings*), la motivation, la passion, l'humeur, le style affectif, la réactivité affective ou encore les pulsions. Certains de ces phénomènes dépendent les uns des autres. Par exemple, Damasio (1998a p.84) a proposé que « **the term feeling should be used to describe the complex mental state that results from the emotional state** » et Davidson, Jackson, et Kalin (2000 p. 897) ont proposé que le

terme « *affective style* » soit utilisé en référence au « ***broad range of individual differences in different subcomponents of affective reactivity and dispositional mood*** ». Certains de ces concepts souffrent moins que les autres de leur sens populaire car ce sont des concepts exclusivement scientifiques (p.ex., *Affective Style*, voir Davidson, 1992). Il y a un tel recouvrement entre ces concepts que des distinctions strictes entre ces phénomènes sont, pour le moment, impossibles à établir de façon consensuelle. Cela rejoint le point de vue de Sloman (2001) lorsqu'il explique, en faisant référence aux « émotions », « sentiments », « humeurs », etc. que « ***these concepts can be deceptive: the words appear to have clear meanings but are used in very imprecise and systematically ambiguous ways.*** » Par exemple, puisque Rolls (1999) a inclus la soif et le comportement sexuel comme étant des émotions dans son livre « *The Brain and Emotion* », Phillips (1999) a proposé qu'il soit plus approprié de titrer cet ouvrage « *The Brain and Motivation* » ! De fait, individualiser certains phénomènes affectifs, principalement les émotions, représente un défi scientifique.

Les émotions en tant qu'objet d'étude

Il n'existe pas de définition opérationnelle et consensuelle des émotions, ni en neurosciences cognitives ni dans aucun autre champ de recherche (voir, p. ex., Strongman, 1996). De cette absence de définition résulte une confusion terminologique évidente. Par exemple, Kleinginna et Kleinginna (1981) ont recensé une liste variée de quatre-vingt-douze définitions rendant compte de la diversité des caractérisations de l'émotion. Ces auteurs ont identifié différentes classes de définitions mettant l'accent par exemple sur la dimension subjective, sur les catégories de stimuli déclencheurs, sur les mécanismes physiologiques, sur l'expression des comportements émotionnels, sur les effets adaptatifs, ou encore sur les effets perturbateurs.

Il est intuitif de considérer que les chercheurs qui se revendiquent comme appartenant à des disciplines différentes puissent être en désaccord sur la définition des émotions. Par exemple, deux positions opposées sont le point de vue phénoménologique selon lequel les émotions sont des modes particuliers de la conscience (p.ex., Sartre, 1938) et le point de vue néobéhavioriste de Rolls (1999 p.60) qui définit les émotions comme des « *states elicited by rewards and punishers* ». Le désaccord définitionnel est également installé au sein d'une discipline telle que la neurosciences. Ainsi, selon Damasio (1998a p.84), « ***the term emotion should be rightfully used to designate a collection of responses triggered from parts of the brain to the body, and from parts of the brain to other parts of the brain, using both neural and humoral routes*** ». En revanche, LeDoux (1994, p. 291) écrivait que « ***in my view, emotions are affectively charged, subjectively experienced states of awareness. Emotions, in other words, are conscious states*** ». De prime abord, cette divergence terminologique apparaît comme avoir des implications importantes; notamment, selon LeDoux, les émotions sont conscientes, alors que selon Damasio, elles ne le sont pas. Mais, si tel que cela semble être le cas, le sens assigné par LeDoux au terme « *emotion* » est le sens assigné par Damasio au terme « *feeling* », alors il s'agit plutôt de variations terminologiques que de débat scientifique.

Plutôt que de proposer une définition du système émotionnel, notre intention est de participer à la caractérisation de ses composants, de ses fonctions, de son architecture fonctionnelle et de son implémentation dans le cerveau.

La relation (inclusive) émotion-cognition

Depuis l'émergence des sciences cognitives, les cognitivistes ont très largement exclu les émotions de leur thématique de recherche. De prime abord, ce désintérêt paraît invraisemblable si l'on considère la place fondamentale que les émotions occupent dans la vie psychique. Au moins deux explications peuvent être proposées pour rendre compte d'un tel désintérêt.

En premier lieu, les émotions étaient considérées comme étant trop complexes. Du fait de cette complexité, les cognitivistes ont développé ce que l'on pourrait qualifier de « complexe d'infériorité » : les cognitivistes présumaient ne disposer ni des outils ni de la légitimité nécessaires pour étudier les émotions. Mais, une « révolution émotionnelle » s'est produite à la fois en neurosciences cognitives et en intelligence artificielle. En neurosciences cognitives, il nous semble que la perspective évolutionniste (voir l'introduction ; Tooby & Cosmides, 2000) et l'utilisation croissante des techniques d'imagerie cérébrale durant les années 1990 (voir Gazzaniga, 2000) sont à l'origine de cette révolution. En intelligence artificielle, l'émergence de l'informatique affective (*Affective Computing*, voir Picard, 1997) et de la perspective incarnée « *Embodied Perspective*, voir Cañamero, 2001 pour discussion) nous semblent être à l'origine de cette révolution. Elle a également été influencée par le développement concomitant d'études sur la cognition sociale à la fois en neurosciences cognitives (voir Adolphs, 2001 ; Zalla & Sander, sous presse) et en intelligence artificielle (voir Castelfranchi, 2001). Cette révolution accompagnée d'une approche computationnelle promet de conduire à la résolution du complexe d'infériorité.

En second lieu, ce désintérêt apparaît comme inévitable dès lors que l'on considère que le mode de pensée dominant, profondément marqué par un cartésianisme scientifiquement correct, était de concevoir le système cognitif comme une « machine pensante, incarnation de la raison ». Par conséquent, la tradition cognitiviste (surtout cognitiviste) était de concevoir les émotions comme des troubles de l'esprit (cognitif). Deux questions fondamentales sous-tendent l'absence des émotions comme objet d'étude traditionnel des sciences cognitives. Premièrement, pourquoi un cognitiviste devrait-il étudier les émotions si les émotions n'étaient pas des phénomènes cognitifs ? Et, deuxièmement, comme argumenté par Damasio (1998a, p. 83), si la raison est quelque chose de bien « *one good thing* », alors, « ***who would want to spend a lifetime attempting to understand the very opposite of one good thing?*** » Ce dilemme révèle la nature ambiguë de la relation qu'entretiennent les concepts d'émotion et de cognition. Selon nous, l'ambiguïté peut être levée en considérant que leur relation est une relation d'*inclusion* : le système émotionnel est un système cognitif particulier. En effet, les deux points de vue qui suggèrent l'exclusion des mécanismes émotionnels du système cognitif nous paraissent infondés.

Le premier point de vue consiste à adopter une option morale consistant à

réactualiser l'opposition entre la raison et les passions (p. ex., Descartes, 1649). Ainsi, les conflits animant la psychologie cognitive dans les années 1980 (voir le débat Zajonc, 1984 / Lazarus, 1984 ; voir Leventhal & Scherer, 1987 pour discussion) et la neuroscience cognitive dans les années 1990 (voir le débat LeDoux, 1993 / Parrot & Schulkin, 1993) nous semblent reposer avant tout sur la pérennité idéologique de cette opposition. De plus, il est indiscutable que, à un niveau épistémologique, la cognition n'est pas assimilable à la raison. Soulignons également que le principe selon lequel la raison et les émotions sont des processus indépendants est fortement discutable puisqu'il a été suggéré que l'émotion soit déterminante dans certaines prises de décision (Bechara et al., 1997) et que les émotions puissent être considérées comme rationnelles car elles sont fonctionnelles, dépendantes de traitements considérés comme intellectuels et sous-tendent des comportements raisonnables (Scherer, 1985).

Le second point de vue, en partie lié au premier, consiste à choisir une définition des processus cognitifs excluant par principe les processus émotionnels, impliquant ainsi une expulsion tautologique des émotions hors du champ des problématiques des sciences cognitives. Comme l'a remarqué Gainotti (1994, p.471), les chercheurs qui s'opposent sur les relations entre l'émotion et la cognition ne s'accordent pas sur la définition des processus cognitifs. Précisons, à ce titre, que nous considérons, qu'un processus cognitif est un processus, naturel ou artificiel, traitant (pas nécessairement de façon symbolique) de l'information, servant à l'acquisition, l'organisation et l'utilisation de connaissances. Ce choix définitionnel conduit notamment à inclure au sein de l'ensemble des systèmes cognitifs le système immunitaire, et ce bien que ce ne soit pas seulement un contingent neuronal qui traite l'information. Si une telle définition est adoptée, alors même LeDoux (1993), qui milite pourtant pour une autonomie du système émotionnel face au système cognitif, accepte qu'un processus émotionnel soit considéré comme cognitif. Cependant, il n'appartient à personne le privilège de définir précisément ce qui est cognitif : la cognition étant une abstraction conceptuelle, il revient à la communauté scientifique tout entière de la définir.

Emotions dans la nature et nature des émotions : Approche évolutionniste des émotions

« *What are brains for ? Sex.* » Michael S. Gazzaniga (1997, p.157).

Comme cela a été évoqué dans l'introduction, la perspective évolutionniste tend à devenir un paradigme dominant en neuroscience cognitive. Il n'a pas fallu attendre ce développement pour que les théories de l'évolution considèrent les émotions comme un objet d'étude privilégié (voir Cosmides & Tooby, 2000 ; Faucher, 1999 ; Griffiths, 1999). En particulier, les travaux de Charles Darwin (1872) sur *l'expression des émotions chez l'homme et les animaux* ont eu deux apports principaux.

Le premier a été de fournir l'acte de naissance d'une voie de recherche très active actuellement, dont le plus illustre contemporain est Paul Ekman : l'étude des expressions

faciales émotionnelles. L'expression faciale et la posture sont considérées comme des composantes essentielles dans l'évolution des espèces. L'expression émotionnelle est un vecteur privilégié par lequel un individu peut exprimer son expérience émotionnelle et ainsi permettre à autrui de la reconnaître. Les capacités à produire une expression émotionnelle et à reconnaître les expressions représentent ainsi un avantage adaptatif (voir Öhman, 2002). Par exemple, exprimer la colère comme l'indice d'une agressivité peut faire fuir un ennemi, si ce dernier est capable de la reconnaître.

Le second apport de Darwin n'est pas exclusif à son oeuvre de 1872 mais inhérent à sa théorie de l'évolution. Ainsi, la théorie synthétique (ou Néo-Darwinienne) de l'évolution considère le système de traitement des informations émotionnelles de l'homme moderne comme remplissant une fonction adaptative spécifique et s'appuyant sur un héritage phylogénétique. La fonction adaptative des émotions s'exprime dans les comportements émotionnels produits par un ensemble de composants cognitifs. Différents comportements, qu'il s'agit d'expliquer en termes cognitifs, rendent compte des fonctions émotionnelles. Par exemple, face au danger, la fuite, le combat ou l'inhibition (Gray, 1994) représentent de tels comportements.

Tooby et Cosmides (1995) ont justifié clairement l'approche computationnelle des émotions. Selon ces auteurs, puisque la fonction du cerveau est de nature informationnelle, son organisation fonctionnelle précise ne peut être décrite fidèlement qu'avec un langage capable d'exprimer ses fonctions informationnelles, c'est-à-dire en termes cognitifs plutôt qu'en termes cellulaires, anatomiques ou chimiques. L'approche computationnelle permet, justement, de proposer une architecture fonctionnelle du système émotionnel.

Chapitre 2. Des Contraintes pour des Modèles

Tout modèle computationnel des émotions se doit de vérifier deux types de principes. Premièrement, il se doit de suivre les principes devant être vérifiés par toute théorie scientifique, tel que le principe de réfutabilité. Nous ne les développons pas dans ce manuscrit car ils sont généraux (voir Popper, 1968). Deuxièmement, il se doit de respecter des contraintes posées par l'étude interdisciplinaire des émotions. Identifier de telles contraintes représente une étape cruciale dans notre démarche de modélisation. Nous proposons une liste de contraintes fonctionnelles, computationnelles et neuronales.

Contraintes fonctionnelles (CF) : les 3 E : Evaluation, Expression et Expérience

Dans cette section, nous établissons une distinction opérationnelle entre les contraintes fonctionnelles (CF) associées à trois aspects des émotions : l'évaluation, l'expression et l'expérience.

Evaluation

Le processus d'évaluation émotionnelle est défini ici comme le processus permettant l'extraction de la valeur émotionnelle des stimuli extérieurs. Ce processus permet notamment au système cognitif de catégoriser un événement extérieur comme négatif ou positif. Nous avons identifié six contraintes qui nous semblent critiques pour rendre compte des fonctions du composant « évaluatif » des émotions.

(CF1) Détecter des stimuli saillants

La perspective évolutionniste a permis de révéler de façon consensuelle qu'une des fonctions principales de l'évaluation émotionnelle consiste à signaler au système cognitif les événements environnementaux pertinents et de mobiliser l'organisme pour y réagir (voir Frijda, 1994; Ekman, 1999).

(CF2) Appliquer le « principe de précaution »

Pour être optimale, la détection de stimuli pertinents doit être rapide et se fonder sur un minimum d'informations. Dans certains cas, il n'est pas nécessaire que le stimulus soit identifié pour qu'une réponse émotionnelle soit déclenchée ; pour reprendre la métaphore de Frijda (1994), si les risques sont potentiellement élevés « *you shoot before you ask questions* ». De nombreux résultats soutiennent l'idée selon laquelle nous sommes capables d'évaluer automatiquement la valeur émotionnelle d'un stimulus avant de le reconnaître (voir la section consacrée aux contraintes computationnelles). Ce principe de précaution peut conduire à des erreurs car des stimuli non émotionnels peuvent être confondus avec des déclencheurs émotionnels ; par exemple, confondre inconsciemment un bout de bois avec un serpent peut induire une réaction de peur (voir LeDoux, 1996).

(CF3) Signaler la valeur émotionnelle à d'autres systèmes cognitifs

La détection de stimuli pertinents permet à l'organisme de transmettre, en temps réel, des informations concernant la valeur émotionnelle de ces stimuli à d'autres systèmes cognitifs tels que le système mnésique et le système attentionnel. Le signal minimum devrait être catégoriel, du type « le stimulus est bon ou mauvais » pour l'organisme. De plus, dans la mesure où la valeur émotionnelle n'est pas réduite à la dimension hédonique (voir Cacioppo & Gardner, 1999), le signal devrait également transmettre des informations concernant l'intensité émotionnelle. Par exemple, plus un stimulus est intense, plus la réaction est rapide (voir Scherer, 1994) et mieux le stimulus est encodé (Canli, Zhao, Brewer, Gabrieli, & Cahill, 2000).

(CF4) Donner priorité à certains buts et processus

Une fonction de l'évaluation est de favoriser certains buts et de donner priorité aux processus pertinents assurant la réalisation de ce but (voir Kosslyn & Koenig, 1995). Ainsi, lorsqu'un individu donne priorité à un but particulier parmi des buts alternatifs, les émotions peuvent guider ce processus sélectif. Par exemple, considérons la situation suivante : un ours sauvage s'échappe de sa cage dans un zoo. Si un individu est directement confronté à l'animal dangereux, alors le but « fuir l'ours » serait prioritaire sur le but « prévenir le garde ». En revanche, si le même individu est en sécurité loin de

l'ours, alors le but prioritaire serait de prévenir le garde. Ce rôle est cohérent avec l'hypothèse d'une hiérarchisation des items et des buts en mémoire de travail selon leur valeur émotionnelle (Damasio, 1994).

(CF5) Interrompre certains processus non pertinents

Un corollaire de la contrainte fonctionnelle précédente est qu'une fonction de l'évaluation est d'interrompre tout processus qui devient incompatible avec un nouveau but prioritaire. Une interférence pourrait notamment se produire en mémoire de travail (Gattet & Bougeant, 2001). Par exemple, si un individu ouvre une armoire dans le but de prendre un vêtement et se retrouve face à une araignée, le processus visant à se vêtir est interrompu.

(CF6) Permettre certains apprentissages émotionnels

Le paradigme de peur conditionnée a montré que, sous certaines conditions, un individu peut attribuer une valeur émotionnelle à un stimulus préalablement neutre si celui-ci a été associé à un stimulus inconditionnel émotionnel (voir Bechara et al., 1995; LeDoux, 1996). L'attribution émotionnelle sur le stimulus conditionnel n'est possible que parce que l'individu est capable d'évaluer de façon synchrone le stimulus inconditionnel comme étant émotionnel. Selon LeDoux (2001 p.287), cette fonction est fondamentale pour la mémoire émotionnelle. En faisant référence aux circuits des émotions, cet auteur a proposé que « ***the natural or unlearned or evolutionary stimuli are prewired to access the hardwired response circuits. Other things can enter those circuits if they activate the circuits at the same time that a natural stimulus does.*** » Par conséquent, l'évaluation peut conduire à la confusion. Un tel exemple est proposé par Clore (1994 p. 107) : « ***one of the oldest advertising strategies is to encourage male consumers to confuse their interest in an alluring female model with their interest in the product she is associated with.*** »

Expression

Nous considérons ici les contraintes fonctionnelles concernant la production des expressions émotionnelles. La composante expressive des émotions recouvre les changements corporels et comportementaux corrélés avec la composante expérientielle. De tels paramètres incluent des variations du système nerveux autonome (p.ex., la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et le taux de sudation), des variations du système endocrinien, des variations du système immunitaire, des variations d'ordre moteur (p.ex., les expressions faciales et la posture), ainsi que des manifestations prosodiques. Trois contraintes nous semblent recouvrir les fonctions essentielles de l'expression émotionnelle.

(CF7) Communiquer un état émotionnel

Darwin (1872) a été le premier à proposer que la capacité d'exprimer des émotions soit un avantage évolutif. En effet, l'expression directe, par exemple faciale, est le moyen non

ambigu le plus rapide pour signaler une émotion aux autres individus de la même espèce et, dans une certaine mesure, aux individus d'autres espèces. Un exemple, proposé par Scherer (1994), peut être choisi dans le domaine des interactions sociales : « ***the facial reaction to an ironic statement will reveal immediately whether the utterance was perceived as a joke or an insult.*** »

(CF8) Communiquer des intentions

Si, à la suite de Perner et Lang (1999, p.337), nous définissons la théorie de l'esprit comme « ***the ability to ascribe mental states, such as desires, beliefs, feelings and intentions to oneself and to other people*** », alors un corollaire de la fonction précédente est que l'expression d'une émotion par un individu permet aux observateurs qui possèdent une théorie de l'esprit d'attribuer des intentions spécifiques à cet individu. Par exemple, l'intention de se battre peut être attribuée à un individu qui exprime la colère.

(CF9) Induire et moduler l'expérience émotionnelle

Le premier auteur à avoir systématisé le rôle de l'expression dans l'expérience émotionnelle était James (1884, p.190) qui expliquait que « ***my thesis (...) is that the bodily changes follow directly the PERCEPTION of the exciting fact, and that our feeling of the same changes as they occur IS the emotion*** ». Depuis la proposition de James ainsi que la théorie comparable de Lange (1885), de nombreux résultats ont suggéré que l'exécution d'une expression faciale, sans que celle-ci ne soit engendrée par une évaluation émotionnelle ou une expérience émotionnelle, puisse induire une expérience émotionnelle (p.ex., Levenson, Ekman, & Friesen, 1990). Le rôle des modifications corporelles dans l'évaluation et l'expérience émotionnelles a été théorisé par Damasio (p.ex., Damasio, 1998b) dans le cadre de l'hypothèse des marqueurs somatiques (*somatic markers*).

Expérience

Nous définissons l'expérience émotionnelle comme l'état conscient subjectif de ressentir une émotion. Cette définition correspond à la notion de *feeling* (Damasio, 1998a ; Scherer, sous presse). Puisque l'expérience émotionnelle dépend à la fois de l'évaluation et de l'expression, les six contraintes fonctionnelles suivantes ne sont pas nécessairement spécifiques à l'expérience.

(CF10) Moduler la mémoire

L'émotion et la mémoire interagissent et sont même selon Damasio (1998a p. 84), « ***so closely coupled that one cannot fully understand the latter without the former*** ». Ainsi, l'émotion module la rétention des informations en mémoire à long terme explicite (voir Cahill, 2000). En particulier, il semble que l'intensité émotionnelle module la mémoire explicite durant les phases d'encodage et de consolidation mnésiques (voir Hamann, 2001). La consolidation des informations émotionnelles en mémoire pourrait se produire

grâce aux oscillations dans l'amygdale (Paré, Collins, & Pelletier, 2002).

(CF11) Moduler les jugements et les prises de décisions

L'expérience émotionnelle a un effet sur la façon dont un individu évalue et juge les événements comme cela a été résumé par Clore (1994 p.105) expliquant que « **Just about anything is judged more positive when one is happy and more negatively when one is sad** ». De plus, ressentir une émotion pourrait déclencher des processus inconscients qui influencent certaines prises de décisions (p.ex., Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997).

(FP12) Servir notre théorie de l'esprit

Etre capable de ressentir des émotions peut servir notre théorie de l'esprit. En effet, savoir *ce que cela fait* de faire l'expérience d'une émotion pourrait permettre, peut-être grâce à la simulation mentale (voir Gallese & Goldman, 1999), de savoir ce que cela fait à quelqu'un de faire l'expérience d'une émotion. Une information fiable qu'un individu utilise dans le but d'attribuer l'état mental « expérience émotionnelle » est l'expression faciale. Par exemple, cette capacité peut générer des interactions sociales si un individu (i) évalue une expression émotionnelle faciale comme reflétant de la tristesse et (ii) sait ce que cela fait de faire l'expérience émotionnelle de la tristesse.

(CF13) Attribuer la cause d'une émotion à des inducteurs

Si un individu n'a pas identifié l'inducteur de son expérience émotionnelle, alors la situation qui déclenche l'émotion ne peut pas être explicitement recherchée ou évitée. Par conséquent, être conscient de son état émotionnel dans une situation donnée est un avantage car cela peut contribuer à stocker l'identité de l'inducteur en mémoire à long terme explicite. Cette fonction est également décrite dans le modèle « *affect-as-information* » proposant que « **a primary function of emotion is to provide information about how a situation has been appraised. This information is conveyed internally by emotional experience** » Clore (1994, p. 104). L'identification des inducteurs potentiels contraint ainsi la génération de buts et de plans. Par exemple, un individu qui a conscience de ressentir l'expérience de peur en avion pourra choisir de prendre le train car il a identifié la situation « être dans un avion » comme étant un inducteur potentiel. La rétention en mémoire de représentations associant des événements inducteurs à des émotions constitue une clé du développement de l'être humain car de telles représentations contribuent aux processus d'évaluation et d'anticipation. Ainsi, comme l'explique Jouvent (2000, p. 467) : « **Toute l'histoire d'un bébé qui va se développer procède de ce problème, c'est-à-dire gérer la temporalité et engranger dans sa mémoire des expériences afin que plus tard dans des situations analogues qui lui rappellent, positivement ou négativement, un environnement sensoriel, un contexte particulier, il puisse à la fois utiliser sa mémoire pour relire ce qu'il vient d'éprouver ou pour anticiper ce qu'il est susceptible de rechercher.** »

(CF14) Etre un but en soi

Un corollaire de la contrainte précédente est que lorsque des inducteurs potentiels sont identifiés, l'expérience émotionnelle peut alors être considérée comme représentant un *but* en soi. Dans ce cas, les expériences émotionnelles peuvent être activement recherchées ou évitées. Par exemple, lorsqu'un individu visite une attraction particulière dans un parc de loisirs, son but est de faire l'expérience d'une émotion spécifique. Cette fonction pourrait être déficitaire chez les patients anhédoniques et chez les patients athymormiques.

(CF15) Préparer et entretenir la réalisation d'un but

Une autre fonction déterminante de l'expérience émotionnelle est de préparer et entretenir la réalisation d'un but. Par exemple, l'émotion ressentie par un pianiste en concert peut l'aider à se concentrer et à réaliser son but qui est d'interpréter la musique le mieux possible.

Contraintes computationnelles (CC)

Dans cette section, nous proposons des contraintes computationnelles (CC) établies dans le but de contraindre l'architecture du modèle. Une distinction architecturale est faite entre les contraintes posées au niveau des entrées, au niveau intermédiaire, et au niveau des sorties.

Au niveau d'entrée.

(CC1) Entrées extéroceptives et intéroceptives

Deux types d'informations perceptives entrent dans le système émotionnel d'un organisme : (1) des informations relatives aux stimuli extérieurs traitées par le système extéroceptif et (2) des informations relatives à l'état somatique de l'organisme traitées par le système intéroceptif (p.ex., Bechara et al., 1995). Ces deux types d'informations perceptives sont complémentaires et probablement nécessaires pour induire une expérience émotionnelle. Par exemple, Adolphs, Damasio, Tranel, Cooper, et Damasio (2000) ont démontré, en testant des patients cérébrolésés, que la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles nécessite les cortex somatosensoriels droits.

(CC2) Les représentations endogènes sont des inducteurs potentiels

Ni la présence effective des informations externes ni celle des informations internes ne sont nécessaires pour activer les processus émotionnels. En effet, l'activation par imagerie mentale des représentations qui sont activables par la présence effective des

stimuli (p.ex., visuels, auditifs, mais également intéroceptifs) permet d'induire une émotion. Par exemple, puisque les états somatiques sont représentés dans les cortex somatosensoriels, il est possible pour le cerveau d'activer des informations relatives à un état interne par l'intermédiaire de boucles de simulation de cet état interne (« *as-if-body loops* », Damasio, 1994). Comme l'explique Damasio (2000) « ***The varied neural patterns are generated by inputs from varied aspects of the organism's state, but can be modified by top-down signaling from regions such as orbitofrontal cortex and amygdala, by means of an 'as-if-body loop' mechanism (a mechanism that drives activity in somatosensory maps from within the brain, independently of actual body signaling).*** »

(CC3) Variations dans le pouvoir inducteur des stimuli exogènes

Un nombre croissant de résultats suggère l'existence d'une sélection des entrées accédant au système émotionnel. En fait, ces résultats indiquent que le système émotionnel serait préparé génétiquement à évaluer certaines classes de stimuli. Cette sélectivité peut être décrite à deux niveaux. A un niveau général, pour un individu donné, il est évident que certains stimuli induisent une émotion alors que d'autres n'ont pas cette propriété. Par exemple, dans un contexte neutre, la plupart des gens ont peur des araignées mais pas des stylos. Au niveau des stimuli inducteurs, il a été proposé que certains stimuli induisent des émotions parce qu'ils sont évolutionnairement saillants (*evolutionary salient*), telles que les expressions faciales émotionnelles (Öhman, 2002). Par exemple, il a été suggéré que les réactions de peur soient « ***preferentially activated in aversive contexts by stimuli that are fear relevant in an evolutionary perspective*** » (Öhman & Mineka, 2001, p.483).

Au niveau de l'interface

(CC4) Mécanismes polarité-dépendants²

L'idée selon laquelle certains mécanismes émotionnels sont différentiellement sensibles aux événements négatifs et positifs est l'objet d'un débat vigoureux. Ce débat est présenté dans le chapitre 4 et peut être résumé comme suit.

D'une part, il a été proposé que l'implication de mécanismes émotionnels spécialisés *dépende de la polarité* de l'événement traité (p.ex., Davidson, 1995). De tels mécanismes seront désignés comme *polarité-dépendants*.

D'autre part, il a été proposé de considérer les mécanismes émotionnels comme impliqués de façon indifférenciée dans les émotions négatives et positives (p.ex., Russell & Carroll, 1999).

² Le terme « polarité » a été choisi pour distinguer les phénomènes (stimuli, représentations, mécanismes cognitifs, expressions et expériences) liés aux émotions négatives de ceux liés aux émotions positives. Ce terme a été préféré à celui de « valence » car ce dernier nous a semblé trop associé conceptuellement à « l'hypothèse de valence » (voir la contrainte neuronale CN 1).

Le fait de déterminer si certains mécanismes émotionnels sont polarité-dépendants est déterminant pour contraindre l'élaboration d'une architecture fonctionnelle des émotions.

Considérant la place clé qu'occupe une telle contrainte, l'objectif principal de notre travail doctoral a été de tester l'hypothèse de polarité au niveau des mécanismes cognitifs impliqués dans l'évaluation émotionnelle (voir les chapitres 4 et 5).

(CC5) Mécanismes évaluatifs automatiques

Le thème de l'automatisme des mécanismes polarité-dépendants est également au coeur de nos recherches. Cette contrainte propose que certains mécanismes permettent l'extraction de la valeur émotionnelle d'un événement de façon automatique (p.ex., Öhman & Mineka, 2001).

Pouvoir identifier et caractériser la nature des mécanismes émotionnels, notamment polarité-dépendants, qui fonctionnent dans un mode automatique est une priorité de la neuroscience cognitive. En particulier, déterminer si les mêmes mécanismes émotionnels sont engagés dans l'évaluation explicite et dans l'évaluation implicite constitue le second objectif de notre travail doctoral. La problématique concernant l'évaluation automatique sera par conséquent présentée au chapitre 4.

(CC6) Apparition rapide et durée brève des émotions

Une différence majeure entre les émotions et les autres phénomènes affectifs concerne l'aspect temporel : les émotions ont une apparition rapide et une durée brève (voir Scherer, 2000). Par conséquent, une architecture fonctionnelle des émotions doit prendre en compte le fait que l'interaction des mécanismes qui génèrent les émotions se produit rapidement après la présentation d'un stimulus.

(CC7) Estimation³ (*appraisal*) des situations

Le fait que les émotions aient une apparition rapide et une durée brève ne signifie pas que les entrées endogènes et exogènes ne soient pas estimées (*appraised*) en fonction de critères particuliers. L'estimation d'un événement peut être définie comme une évaluation subjective du sens et des conséquences de cet événement (voir Scherer, Schorr, & Johnstone, 2001). Ainsi, selon le modèle des processus composants (*component-process-model* ; voir Scherer, sous presse), l'induction et la différenciation émotionnelles sont le résultat d'une succession rapide de séquences évaluatives (*stimulus evaluation checks*), chacune ayant pour fonction d'évaluer ou de contrôler certains aspects de l'événement déclencheur et les conséquences de son traitement.

³ Le terme « estimation » a été préféré au terme « évaluation » comme traduction du concept « *appraisal* ». Ce choix a été effectué car, dans notre thèse, le terme « évaluation » est utilisé pour référer à une notion qui ne recouvre pas totalement celle qui est attribuée au terme « *appraisal* » par les théoriciens de l'*appraisal*.

Au niveau de sortie

(CC8) Approche *versus* évitement

Une distinction classique au sein des réactions émotionnelles consiste à distinguer les comportements d'approche (*approach*) et les comportements d'évitement (*withdrawal*). Comme le résumait Davidson et Irwin (1999, p. 11-12), « ***The approach system facilitates appetitive behavior and generates certain types of positive affect that are approach-related, for example, enthusiasm, pride, etc. This form of positive affect is usually generated in the context of moving toward a desired goal (...). There appears to be a second system concerned with the neural implementation of withdrawal. This system facilitates the withdrawal of an individual from sources of aversive stimulation and generates certain forms of negative affect that are withdrawal-related. For example, both fear and disgust are associated with increasing the distance between the organism and a source of aversive stimulation.***

»

Il est intéressant de remarquer qu'une telle conception théorique a également été développée par Hobbes (1651, p.119) qui décrivait que « ***This Endeavour, when it is toward something which causes it, is called Appetitive (...). And when the Endeavour is fromward something, it is generally called Aversion. These words Appetite, and Aversion (...) signify the motions, one of approaching, the other of retring.*** »

(CC9) Expression émotionnelle

La sortie principale du système émotionnel est la composante expressive. Comme cela a été décrit précédemment, cette composante recouvre des variations de paramètres du système nerveux autonome (p.ex., la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et le taux de sudation), des modifications des systèmes endocrinien, immunitaire, et moteur (p.ex., les expressions faciales et la posture), ainsi que des manifestations prosodiques.

(CC10) Expression non ambiguë des émotions basiques

Une question essentielle transversale à toutes les perspectives théoriques concerne l'existence d'émotions basiques. Ces émotions seraient « basiques » selon deux acceptions. D'une part, elles seraient basiques au sens de « *fondamentales* » car indispensables à l'évolution de notre espèce. D'autre part, elles seraient basiques au sens de « *de base* » car chaque émotion complexe serait composée de certaines de ces émotions ; tout comme les couleurs de base composent chaque couleur. Ce dernier point de vue était notamment celui de Descartes (1631 Art. 69) qui distinguait six émotions primitives : l'admiration, l'amour, la haine, le désir, la joie et la tristesse, en précisant que « ***toutes les autres sont composées de quelques-unes de ces six, ou bien en sont des espèces*** ». Les défenseurs de l'existence de telles émotions prétendent qu'elles seraient différenciables les unes des autres selon les antécédents qui les déclenchent et selon leur expression, et qu'elles seraient universellement ressenties et reconnues ; ainsi

Ekman (1999) a proposé une liste d'émotions basiques : « **amusement, anger, contempt, contentment, disgust, embarrassment, excitement, fear, guilt, pride in achievement, relief, sadness/distress, satisfaction, sensory pleasure, and shame** ». Notons cependant que les émotions basiques sont le plus souvent considérées comme se limitant à la peur, la colère, la tristesse, le dégoût et la joie.

Il nous semble qu'une partie de la controverse concernant les émotions basiques vient du fait que l'étape de génération d'une émotion est parfois confondue avec la composante expressive de cette émotion. En effet, un antécédent donné peut, en fonction de la façon dont celui-ci est estimé, générer des émotions basiques différentes. Par exemple, obtenir une note de 10/20 à un examen peut générer une émotion de joie chez un étudiant alors que l'obtention de la même note à un autre examen peut générer une émotion de tristesse chez le même étudiant si ses *attentes* sont différentes selon l'examen. Par conséquent, même si certains stimuli évolutionnairement saillants génèrent systématiquement une émotion basique donnée, notons que (i) le déterminisme d'une telle génération semble restreint à cette classe de stimuli et que (ii) ce déterminisme est pour l'instant mesuré principalement aux niveaux d'entrée et de sortie mais pas au niveau intermédiaire auquel se produit pourtant la génération émotionnelle. Ainsi, les études dont les résultats plaident pour l'existence de sous-systèmes spécifiques à chaque émotion basique ont principalement cherché à démontrer d'une part la spécificité de patterns d'activation du système nerveux autonome (p.ex., Ekman, Levenson, & Friesen, 1983; Vernet-Maury, Alaoui-Ismaïli, Dittmar, Delhomme, & Chanel, 1999) et d'autre part l'universalité dans l'expression et la reconnaissance des expressions faciales basiques (voir Ekman, 1999). Aucune étude n'a, à notre connaissance, mis clairement en évidence l'existence de mécanismes cognitifs émotion-spécifiques. Soulignons tout de même la tentative de dissocier les circuits cérébraux impliqués dans les diverses émotions basiques. Par exemple, Blair, Morris, Frith, Perret, et Dolan (1999) ont cherché à identifier en imagerie cérébrale les régions cérébrales différentiellement impliquées dans la reconnaissance des expressions faciales de colère vs tristesse. Ces auteurs ont démontré que l'activation amygdalienne gauche était associée à l'augmentation de l'intensité des expressions de tristesse (mais pas de colère), alors que l'activation du cortex orbitofrontal et du gyrus cingulaire étaient associées à l'augmentation de l'intensité des expressions de colère. De plus, un faisceau d'arguments implique l'insula comme structure clé dans l'émotion de dégoût (p.ex., Phillips et al., 1997 ; voir Calder, Lawrence, & Young, 2001) et l'amygdale dans la peur (voir Öhman & Mineka, 2001). Cependant, le fait que toutes les structures cérébrales citées ci-dessus soient également activées dans d'autres situations que celles évoquées, et notamment par des stimuli correspondant à une autre émotion basique (voir la discussion générale), conduit à suggérer qu'il est risqué d'interpréter ces résultats comme soutenant l'hypothèse de réseaux émotion-spécifiques. Au contraire, le fait que les émotions basiques activent des structures cérébrales communes suggère plutôt que la différenciation des émotions basiques s'opère au sein du même système émotionnel. Dans ce cas, et au vu des résultats d'imagerie cérébrale, il est possible de proposer que ce qui est spécifique à la génération d'une émotion basique est un pattern d'activation (et peut-être de synchronisation) particulier des mêmes processus et composants du système émotionnel. Puisque les émotions basiques sont également les plus fréquentes, un tel pattern peut

être activé très rapidement et systématiquement pour certains stimuli, notamment évolutionnairement saillants.

Soulignons tout de même que l'importance des émotions basiques, ou en tout cas d'émotions discrètes spécifiques, est un point clé de la théorie sur la catégorisation de Niedenthal et al. (1999). Selon ces auteurs (p. 341), « *in term of the function of categorization, an organization of concepts by specific emotions is likely to be the most adaptative, and specific emotion theories should provide the most useful map for emotional response categorization* ».

Alors que l'existence de mécanismes de génération d'émotions spécifiques reste une question empirique, il nous semble avéré que les expressions faciales spontanées des émotions basiques ne sont pas ambiguës (voir Ekman & Rosenberg, 1997). Le fait que l'expression d'une émotion basique ne soit pas ambiguë représente un facteur évolutif important. Un exemple proposé par Ekman (1999) concernant le dégoût est particulièrement illustratif : « *when we see a person with a disgust expression, we know that the person is responding to something offensive to taste or smell, literally or metaphorically, that the person is likely to make sounds such as "yuck" rather than "yum", and is likely to turn away from the source of stimulation* ».

(CC11) Certaines sorties ré-entrent dans le système

Les sorties du système sont incluses dans l'ensemble des entrées accédant au système émotionnel. En effet, comme cela est proposé dans la contrainte CF9, l'expression émotionnelle module l'expérience émotionnelle.

Contraintes neuronales (CN)

Cette section est consacrée à la présentation de contraintes fondées sur l'étude du système nerveux dans le but de spécifier l'architecture du système émotionnel.

(CN1) Asymétrie hémisphérique

Une méthode qui permet de conclure à l'existence de deux sous-systèmes différents est de montrer qu'ils sont implémentés par des régions cérébrales distinctes. Or, les résultats provenant d'études en imagerie cérébrale, neuropsychologie et psychologie indiquent que les deux hémisphères cérébraux ont des implications différentielles dans de nombreuses activités cognitives (voir Gazzaniga, 2000b pour revue). De tels résultats ont permis de conclure à l'existence de sous-systèmes distincts pour ces activités (voir Kosslyn & Koenig, 1992). La question de la latéralisation des mécanismes émotionnels est centrale en neuroscience cognitive et représente une littérature aussi riche qu'hétérogène. Cette littérature s'est révélée fondamentale à la fois pour l'élaboration du modèle computationnel que nous proposons mais également pour l'opérationnalisation de nos hypothèses. Pour cette raison, les principales hypothèses relatives à l'asymétrie

hémisphérique des émotions sont détaillées au chapitre 4. Ces six hypothèses peuvent être résumées de la façon suivante.

• L'hypothèse de l'hémisphère droit propose un avantage général de l'hémisphère droit pour les mécanismes émotionnels, quels que soient le niveau de traitement et la polarité.

• L'hypothèse de valence propose un avantage de l'hémisphère droit pour les émotions négatives et un avantage de l'hémisphère gauche pour les émotions positives.

• L'hypothèse des niveaux de traitement propose un avantage de l'hémisphère droit pour la composante automatique et un avantage de l'hémisphère gauche pour les fonctions de contrôle des émotions.

• L'hypothèse des émotions primaires vs sociales propose un avantage de l'hémisphère droit pour les émotions primaires et un avantage de l'hémisphère gauche pour les émotions sociales.

• L'hypothèse d'activation antérieure asymétrique propose que la région antérieure gauche soit associée aux émotions liées à l'approche alors que l'activation de la région antérieure droite soit associée aux émotions liées à l'évitement.

• L'hypothèse de valence revisitée suggère que certaines structures de l'hémisphère gauche soient plus impliquées dans les émotions négatives que leurs homologues droites et que, dans une moindre mesure, certaines structures de l'hémisphère droit soient plus impliquées dans les émotions positives que leurs homologues gauches.

(CN2) Connectivité cérébrale et zones de convergences

Les structures cérébrales impliquées dans les émotions forment un réseau hautement interconnecté. Par exemple, l'amygdale est connectée aux cortex préfrontal, cingulaire, temporal et occipital, ainsi qu'à l'hypothalamus, au thalamus et à d'autres structures sous corticales (Amaral, Price, Pitkänen, & Carmichael, 1992). Le cingulaire antérieur est également une structure particulièrement riche en connexions, notamment avec l'insula antérieure, le cortex orbitofrontal, l'hypothalamus et l'amygdale (voir Devinsky, Morrell, & Vogt, 1995). Les cortex ventromédians sont importants pour le liage des informations extéroceptives et intéroceptives car ils contiennent des zones de convergences (voir Damasio, 1989) supposées représenter les activités conjointes de réseaux codant ces informations perceptives. Précisément, Damasio (1998b, p. 42) a proposé que « ***The anatomical design is quite compatible with the idea that the ventro-medial cortices contain convergence zones which hold a record of temporal conjunctions of***

activity in other neural units (e.g., varied sensory, limbic structures) hailing from both external and internal stimuli. »

(CN3) La voie sous-corticale

La démonstration la plus claire de l'implication de l'amygdale dans l'évaluation de stimuli potentiellement aversifs vient d'un paradigme permettant de manipuler expérimentalement la valeur émotionnelle d'un stimulus : le conditionnement de peur (voir LeDoux, 1996). LeDoux a pu démontrer l'existence d'une voie sous-corticale directe entre le thalamus et l'amygdale en utilisant ce paradigme. Ces expériences, réalisées chez le rat, suggèrent que l'amygdale permette d'associer par un apprentissage implicite une valeur aversive à un stimulus préalablement neutre, dès lors que le rat a ressenti une émotion de peur lors de sa présentation. Le rôle de l'amygdale dans la mémoire émotionnelle semble alors parfaitement complémentaire du rôle de l'hippocampe dans la mémoire explicite. Bien que la peur soit une émotion humaine ayant un ancrage phylogénétique fort, il est légitime de se demander si l'amygdale humaine assure un rôle comparable à celle du rat. De nombreux arguments convergent pour affirmer que l'amygdale humaine aurait, au minimum, la fonction de l'amygdale du rat. Certains proviennent d'études ayant utilisé une variante du conditionnement aversif chez l'homme (voir Büchel & Dolan, 2000). En effet, plusieurs expériences en IRMf ont utilisé un paradigme consistant à présenter au sujet un son neutre auquel était associé un son aversif, représentant l'équivalent méthodologique du choc électrique chez le rat. Par exemple, Büchel, Dolan, Armony, et Friston (1999) ont montré que l'amygdale s'activait durant le début de l'expérience, c'est-à-dire durant la phase d'apprentissage de l'association entre le son neutre et le son aversif. Les résultats provenant d'études sur des patients ayant une lésion cérébrale limitée à l'amygdale fournissent également des arguments forts pour montrer l'implication de l'amygdale dans l'apprentissage émotionnel implicite. Bechara et al. (1995) ont étudié les contributions relatives de l'amygdale et de l'hippocampe dans le conditionnement émotionnel, d'une part, et dans l'établissement de connaissances déclaratives, d'autre part. Observant une double dissociation entre le conditionnement émotionnel et l'encodage déclaratif, ces auteurs proposent que l'amygdale est essentielle pour associer des stimuli sensoriels externes à des réactions émotionnelles, c'est-à-dire des stimulations internes. L'amygdale permettrait donc de créer des associations sensori-émotionnelles (par analogie avec les associations sensori-motrices). L'hippocampe, en revanche, permettrait l'élaboration d'associations entre informations extéroceptives.

De plus, comme cela sera plus largement développé dans le chapitre 4, certains résultats indiquent que l'amygdale permettrait au système cognitif d'évaluer la valeur émotionnelle de certains stimuli sans l'intervention de la conscience. Nous rapportons ici les résultats à l'origine de cette proposition. Whalen et al. (1998) ont montré, en IRMf avec un paradigme de masquage, que l'amygdale était activée en réponse à des visages exprimant la peur, alors que le sujet n'est pas conscient que de tels stimuli lui ont été présentés. Morris et al. (1998) utilisèrent une procédure semblable et obtinrent des résultats comparables : l'amygdale s'activait lors de la présentation subliminale de visages

exprimant la peur. Plusieurs expériences réalisées chez des patients *blindsight* ont également suggéré un rôle de l'amygdale dans l'évaluation non consciente des stimuli émotionnels. Le comportement de « vision aveugle » dont sont capables les patients *blindsight* pour une classe très restreinte de stimuli s'explique classiquement par l'existence de deux voies visuelles principales, la voie principale rétino-géniculo-striée et une voie allant de la rétine au colliculus supérieur puis au pulvinar, un noyau thalamique. Cette seconde voie serait celle permettant aux patients ayant une lésion du cortex visuel primaire de « voir inconsciemment » certaines propriétés des objets. Les expériences effectuées par de Gelder avec le patient *blindsight* G.Y. ont indiqué que ce dernier serait capable de catégoriser, dans son champ visuel aveugle, certaines expressions faciales dynamiques émotionnelles, principalement la colère (p.ex., de Gelder, Vroomen, Pourtois, & Weiskrantz, 1999). Ces auteurs ont fait l'hypothèse que cette capacité d'effectuer un jugement émotionnel serait assurée par la seconde voie visuelle, qui impliquerait l'amygdale. Cette hypothèse est renforcée par le fait que LeDoux ait montré l'existence d'une voie directe, chez le rat, reliant le thalamus auditif au noyau latéral de l'amygdale. Comme représenté dans la figure 2.1, la voie possible sous-corticale de l'évaluation émotionnelle non consciente lors d'une entrée visuelle impliquerait donc, dans l'ordre, la rétine, le colliculus supérieur, le pulvinar, l'amygdale et enfin le cortex. Morris et al. (1999) ont obtenu des résultats en imagerie cérébrale chez le sujet normal confirmant cette hypothèse d'une voie colliculus-pulvinar-amygdale. En effet, ces auteurs ont montré qu'une activation du pulvinar et du colliculus supérieur accompagnait celle de l'amygdale droite, suite à la présentation subliminale de visages exprimant la peur. L'importance d'une telle voie dans l'apprentissage émotionnel a également été corroborée par un modèle computationnel connexionniste, anatomiquement contraint, du réseau impliqué dans la peur (Armony, Servan-Schreiber, Cohen, & LeDoux, 1997).

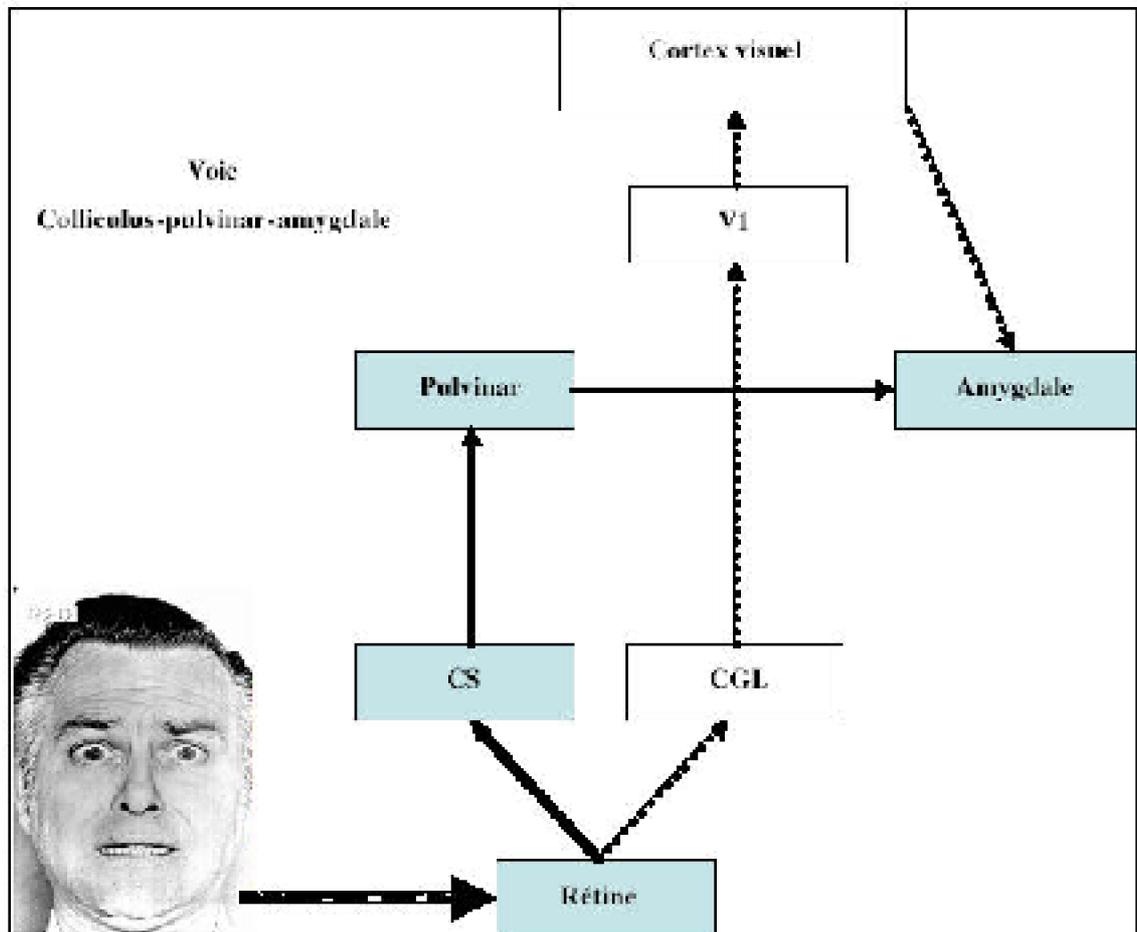


Fig.2.1. La voie sous-corticale (flèches pleines) censée être engagée dans l'évaluation émotionnelle non consciente impliquerait séquentiellement, lors d'une entrée visuelle, la rétine, le colliculus supérieur, le pulvinar puis l'amygdale. CS : Colliculus Supérieur, CGL : Corps Genouillé Latéral, V1 : Cortex visuel primaire.

(CN4) Cartes somatosensorielles

Selon Damasio (1994), les aires cérébrales de l'hémisphère droit qui, lorsqu'elles sont lésées, donnent lieu à une anosognosie sont celles qui représentent la carte la plus complète et la plus synthétique de l'état du corps dont dispose le cerveau à tout instant. Ces aires cérébrales, indispensables notamment dans la perception de la température et de la douleur, comprennent le cortex insulaire et les cortex somatosensoriels primaire (S1) et secondaire (S2) qui sous-tendent ainsi une carte somatosensorielle intégrée (voir aussi Critchley, Mathias, & Dolan, 2001 ; Damasio, 1999). Soulignons que l'insula antérieure, dont les fonctions sont assez mal connues, apparaît comme une structure clé

dans les émotions car elle reçoit des informations de S1 et est la cible principale de projection des viscères.

(CN5) Les patterns d'états internes sont informatifs

Une contribution importante des neurosciences a été de démontrer que le système émotionnel traite des informations dérivées du corps (voir Damasio, 1994 ; CF9 ; CC1). Sans postuler de direction dans la causalité entre l'expérience émotionnelle et l'expression émotionnelle, il nous semble admis que lorsqu'un individu fait une expérience émotionnelle, son expression émotionnelle se modifie et que son pattern d'état interne devient alors de l'information traitée par le cerveau (p.ex., Critchley, Mathias, & Dolan, 2001).

(CN6) Les patterns d'états internes sont distinctifs

Il a été proposé que l'information que constituent les patterns d'états internes permette de différencier les émotions (voir Ekman, 1999). Par exemple, l'existence de patterns d'états internes différentiels a été suggéré pour les émotions basiques (Ekman, Levenson, & Friesen, 1983; Vernet-Maury, Alaoui-Ismaili, Dittmar, Delhomme, & Chanel, 1999). Théoriquement, il nous semble acceptable que les patterns d'états internes puissent permettre, de par leur statut de représentations perceptives intégrées, une discrimination entre différentes émotions au même titre que les représentations visuelles perceptives permettent de discriminer des objets présentés dans le champ visuel. Cependant, notons que l'hypothèse de l'existence d'une signature physiologique fixe spécifique à chaque émotion basique comme le propose Ekman reste une question empirique. La contrainte que nous exposons suggère plutôt l'existence de représentations d'états internes qui permettent la reconnaissance d'un état du corps familier associé à une émotion.

Chapitre 3. Proposition d'un modèle computationnel des mécanismes émotionnels

« What are needed are psychological models of the affective system that do not merely speculate about mediating psychological processes but that instead specify them in detailed, empirically meaningful ways.

Additionally, these models and specifications would not rely solely on self-report evidence of psychological processes but would be based also on more rigorous experimental techniques - including approaches from the cognitive sciences and the neurosciences- for uncovering mediating mechanisms. » (Cacioppo, Gardner, & Berntson, 1999, p. 850)

L'objectif de ce chapitre est de proposer un modèle computationnel des émotions sous la forme d'une architecture fonctionnelle. Pour cela, les sous-systèmes proposés par Kosslyn & Koenig (1995) ont été reconsidérés à la lumière des contraintes énoncées dans le chapitre précédent.

Notre contribution théorique au modèle a consisté à (1) vérifier que le cadre général du modèle est compatible avec la littérature la plus récente ; (2) décomposer deux sous-systèmes fondamentaux de cette architecture, c'est-à-dire, le sous-système d'activation de patterns d'états internes et le sous-système de génération d'instructions

émotionnelles ; et (3) établir plus précisément les interactions entre les sous-systèmes en les représentant sous la forme d'une architecture fonctionnelle.

D'autre part, notre contribution expérimentale au modèle a consisté à tester l'hypothèse selon laquelle l'implication de certains sous-systèmes dépendrait de la polarité des événements traités. Cette contribution visait également à tester l'hypothèse selon laquelle les représentations polarité-dépendantes seraient activées à la fois lors de l'évaluation explicite et lors de l'évaluation implicite (voir chapitres 4, 5 et 6). Comme cela est notamment décrit dans ce chapitre, ces deux aspects sont critiques dans la spécification de l'architecture du modèle.

Cette architecture est illustrée dans la figure 3.1. Les sous-systèmes qui la composent sont les suivants :

Le buffer somatosensoriel

Ce sous-système est une mémoire perceptive à très court terme qui représente, en tant que carte somatique, l'état interne du système. Cet état interne se caractérise principalement par des paramètres physiologiques (p. ex., la fréquence cardiaque) et musculaires (p.ex., l'expression faciale). La fonction du buffer somatosensoriel est de structurer les entrées intéroceptives (en provenance du corps) en unités perceptives qui constituent les entrées de trois autres sous-systèmes, les sous-systèmes d'appariement somatotopique, de pré-traitement d'états internes, et d'activation de patterns d'états internes. Nous proposons que le cortex somatosensoriel (S1) implémente ce sous-système (voir CN 4). Cette proposition est motivée par le fait que la présence d'un buffer perceptif a été largement démontrée dans d'autres modalités de traitement (p. ex., buffer visuel et buffer auditif). Un tel buffer représente une nécessaire régularité, partagée par tout système perceptif, lorsque plus d'informations parviennent à l'entrée du système perceptif que celui-ci n'est capable d'en traiter. Dans tous les cas, cette structure correspond aux cortex perceptifs primaires.

Le sous-système d'appariement somatotopique

Ce sous-système spécifie la localisation corporelle précise d'où émerge la modification de l'état interne consécutive à une situation génératrice. Il transmet alors l'information à la mémoire associative. Nous proposons que ce sous-système soit implémenté dans le cortex pariétal postérieur droit (voir CN4).

Le sous-système de pré-traitement de l'état interne

A l'instar des sous-systèmes de pré-traitement décrits dans les autres modalités perceptives (Kosslyn & Koenig, 1995), nous proposons que ce sous-système assure l'extraction de signaux distinctifs de l'état interne permettant un codage neuronal de cet état.

Nous faisons référence à l'état interne, modifié en particulier lors de l'expression émotionnelle (voir CF 7-9), en tant qu'un ensemble d'informations relatives aux variations du système nerveux autonome, endocrinien, immunitaire et musculaire. Ces informations sont des indices traités en continu par le système émotionnel (voir CC 1, CN 5). L'insula antérieure représente un excellent candidat pour accomplir cette fonction puisqu'elle reçoit des connexions de S1 et constitue le site de projection principal des viscères (voir CN 4).

Le sous-système d'activation de patterns d'états internes

Ce sous-système assure la rétention et l'activation de représentations modalité-spécifiques d'états internes en mémoire à long terme. Il est supposé que les patterns stockés dans cette mémoire perceptive sont distinctifs et permettent la reconnaissance d'un état interne particulier (voir CN 5, CN 6). Nous proposons que ce sous-système soit divisé en un sous-système d'activation de patterns d'états internes positifs et un sous-système d'activation de patterns d'états internes négatifs. Ces sous-systèmes stockent, respectivement, des représentations d'états internes positifs et négatifs qui sont activées lorsque des émotions positives ou négatives sont reconnues. Ce sont principalement les contraintes CC 1 et CN 1 qui nous ont conduits à proposer cette dissociation (voir aussi le chapitre 4). Notre proposition que le sous-système d'activation de patterns d'états internes positifs soit latéralisé à droite alors que le sous-système d'activation de patterns d'états internes négatifs soit latéralisé à gauche est compatible avec « l'hypothèse de valence revisitée », mais la question reste ouverte d'un point de vue empirique. L'hypothèse d'une latéralisation de ces sous-systèmes apparaît particulièrement logique d'un point de vue computationnel. Comme cela a déjà été évoqué, si la moitié des neurones concernant un processus était dans un hémisphère et l'autre moitié dans l'autre hémisphère, alors le volume de connexions serait nettement plus élevé que si tous les neurones impliqués dans ce traitement étaient dans le même hémisphère. Ce constat nous semble particulièrement pertinent puisque les neurones impliqués dans une même computation sont fortement interconnectés. Ces interconnexions sont fréquemment des axones collatéraux récurrents, et justement, comme l'a souligné Rolls (1999), une des fonctions de collatérales récurrentes excitatrices est de permettre à un réseau d'agir en tant qu'*attracteur local*. Cette description correspond précisément au fonctionnement proposé des sous-systèmes d'activation de patterns d'états internes puisque chaque pattern d'état interne peut être considéré comme un attracteur local.

La sortie de ce sous-système est un code susceptible d'activer des représentations en mémoire associative. Nous proposons que ce sous-système soit implémenté dans les cortex somatosensoriels (voir CN 4).

Le sous-système de connexion stimulus-réponse

Ce sous-système, localisé au niveau du striatum et de l'amygdale, est impliqué dans l'apprentissage procédural et dans le conditionnement : un stimulus particulier engendre automatiquement une réponse particulière (voir Kosslyn & Koenig, 1995). Un tel sous-système impliquant l'amygdale rend compte du conditionnement émotionnel car il reçoit des entrées provenant à la fois du sous-système d'activation de patterns d'états internes et des sous-systèmes d'activation de patterns des autres modalités (voir CF 6, CN 3). De plus, nous proposons que ce sous-système sous-tende des réponses émotionnelles innées, telle que « la peur d'un objet qui ressemble à un serpent » permettant ainsi un traitement rapide et non conscient des stimuli biologiquement saillants (voir CF 1, CF 2, CC 3, CC 5, CN 3). Par conséquent, nous proposons que ce sous-système soit implémenté dans le striatum et l'amygdale.

La mémoire associative

La fonction principale de la mémoire associative est d'identifier un stimulus (voir Kosslyn & Koenig, 1995). La mémoire associative stocke des représentations dites amodales (i.e., qui peuvent être activées quelle que soit la modalité perceptive d'entrée); le stimulus est identifié lorsque l'entrée est appariée avec les traits de l'objet stocké. Ainsi, la mémoire associative permet l'identification et la dénomination. De plus, la mémoire associative permet d'apprendre de nouvelles associations (voir CF 10). Dans le cadre des traitements émotionnels, la mémoire associative permet l'interprétation d'un pattern d'état interne dans un contexte particulier, ainsi que l'identification d'une émotion. Le contexte est élaboré en mémoire associative selon les informations concernant la situation qui lui sont transmises par les systèmes perceptifs ainsi qu'en fonction des attentes et des buts de l'individu au moment où l'inducteur est évalué (voir CF 3-5, CF 10-15, CC 7). De plus, des informations *top-down* constituent un signal provenant de la mémoire associative en direction du sous-système d'activation de patterns d'états internes, reflétant ainsi le fait que les patterns d'états internes peuvent être activés en l'absence de stimuli externes (voir CC 2). La mémoire associative est également le lieu d'associations liant des représentations extéroceptives et intéroceptives localisées dans différents sous-systèmes d'activation de patterns (visuels, auditifs...). Ces associations relient les représentations extéroceptives et intéroceptives qui étaient co-activées durant le traitement d'une situation donnée. Elles permettent donc la réactivation de patterns d'états internes sur la base d'entrées provenant des sous-systèmes impliqués dans les traitements extéroceptifs. Des

données neurofonctionnelles montrent que le cortex ventromédian est une zone de convergence liant, d'une part, des informations de toutes les régions corticales sensorielles et, d'autre part, des informations provenant de structures biorégulatrices assurant l'homéostasie (voir CN 2). Ce cortex ventromédian pourrait donc jouer un rôle fondamental dans l'établissement d'un lien entre certains types de situations (grâce aux signaux provenant des aires sensorielles visuelles, auditives, etc.) et certains types d'états du corps. Des représentations associant certaines catégories d'objets ou d'événements avec des états somatiques agréables ou désagréables pourraient ainsi être élaborées. De telles représentations ont été qualifiées de « marqueurs somatiques » (Damasio, 1994) et leur implication a été suggérée dans la prise de décision (Bechara et al., 1997). Nous proposons donc que la partie de la mémoire associative dans laquelle ces représentations extéroceptives-intéroceptives sont implémentées soit le cortex ventromédian (voir CN 2).

Le sous-système de génération d'instructions émotionnelles

Dans le cas du système moteur, un sous-système de génération d'instructions motrices active un programme moteur qui est transmis à un sous-système d'exécution de mouvement qui commande lui-même l'activation de différents muscles (voir Kosslyn & Koenig, 1995). Par analogie, dans le cas des émotions, le sous-système de génération d'instructions émotionnelles génère la configuration cerveau/corps la plus appropriée à une situation spécifique, à partir des représentations activées en mémoire associative. L'hypothèse d'activation antérieure asymétrique pour l'expérience et l'expression émotionnelles nous a conduits à proposer que la génération d'instructions émotionnelles liées *aux comportements d'approche* et celles liées *aux comportements d'évitement* reposent sur des sous-systèmes distincts, organisés chacun préférentiellement dans un hémisphère cérébral (voir CN 1 et le chapitre 4). Dans une situation d'approche, les instructions seraient plutôt contrôlées, alors que dans une situation d'évitement, le comportement serait moins finement contrôlé et les instructions émotionnelles seraient générées dans l'urgence (voir CC 4, CC 8). Ce type d'instructions d'évitement, envoyé au système nerveux autonome et au système moteur, pourrait être qualifié de « balistique ». Ce terme est proposé par analogie aux actes moteurs balistiques dont tous les paramètres sont fixés au départ et qui ne sont plus sous le contrôle du sujet dès que l'acte a débuté. Le sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'approche serait implémenté préférentiellement dans le cortex préfrontal dorsolatéral gauche, alors que le sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'évitement serait implémenté préférentiellement dans le cortex préfrontal dorsolatéral droit. Nous proposons également que le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal médian soient impliqués dans la génération de ces instructions car ces structures semblent fondamentales dans l'expérience émotionnelle (voir l'Expérience 2 ; Thayer & Lane, 2000).

Le sous-système d'exécution émotionnelle

Les instructions générées par les sous-systèmes de génération d'instructions émotionnelles liées à l'approche et à l'évitement activent nécessairement un sous-système effecteur qui module l'état interne de manière à produire une expression émotionnelle. Un sous-système d'exécution émotionnelle est suggéré pour opérer en tant qu'effecteur qui convertit les instructions en modifications effectives de l'état interne (voir CF 9, CC 6, CC 9, CC 11). La sortie de ce sous-système constitue une entrée pour le sous-système de pré-traitement d'états internes et pour le buffer somatosensoriel, l'information concernant l'état interne étant ainsi traitée en continu. Nous proposons que ce sous-système soit implémenté dans l'amygdale, l'hypothalamus et les noyaux du tronc cérébral qui sont les effecteurs principaux du système nerveux autonome (Damasio, 1994).

Une illustration

Dans le but d'illustrer les flux d'informations, les entrées et les sorties du modèle computationnel, considérons la situation suivante : un individu se promène dans un bois. Dans ces circonstances, les spécificités de l'environnement sont analysées en continu, par l'intermédiaire des systèmes extéroceptifs (ces systèmes, p.ex., visuels, ne sont pas représentés dans la figure 3.1). Au cours de cette analyse, le cerveau opère également des computations sur les informations relatives à l'état interne de l'individu. Alors qu'il se promène, le traitement de certains stimuli de l'environnement peut mettre en oeuvre des réponses émotionnelles. Selon le modèle proposé, l'évaluation des situations émotionnelles est assurée par trois processus.

Le premier processus que nous décrivons conduit à une réaction émotionnelle de façon automatique et sans identification nécessaire du stimulus. Considérons la situation dans laquelle l'individu fait face à un serpent. Des représentations extéroceptives (p.ex., une représentation visuelle telle que « la forme d'un serpent » stockée dans le sous-système d'activation de patterns visuels, non représenté dans la figure 3.1) sont traitées par le sous-système de connexion stimulus-réponse, produisant ainsi une expression émotionnelle. Parmi les trois processus en question, celui-ci est le plus prompt à provoquer une réponse émotionnelle.

Considérons la situation dans laquelle l'individu, après une courte marche dans le bois, doit prendre la décision de continuer à marcher ou de monter à cheval. Un second processus pourrait alors intervenir. Parmi les entités cognitives impliquées dans une telle prise de décision, nous proposons que les représentations extéroceptive-intéroceptive stockées en mémoire associative jouent un rôle décisif. Si l'individu a déjà eu des expériences émotionnelles positives lorsqu'il montait à cheval, alors la mémoire

associative stocke des représentations qui lient des représentations extéroceptives (p.ex., une représentation visuelle d'un cheval) et des représentations intéroceptives positives (patterns d'états internes positifs). L'activation de ces représentations peut induire une réponse émotionnelle selon deux voies. Selon la première voie, cette activation peut conduire à une expression émotionnelle réelle par l'intermédiaire des sous-systèmes de génération d'instructions émotionnelles et d'exécution émotionnelle qui génèrent l'état interne positif associé préalablement à l'expérience agréable de monter à cheval (un tel état interne est alors traité par le système de la façon décrite dans le paragraphe suivant). Selon la seconde voie, cette activation peut directement activer les patterns d'états internes positifs qui étaient associés à l'expérience agréable de monter à cheval. Une fois que le pattern d'états internes associé à la situation consistant à monter à cheval est activé, celui-ci participe à la prise de décision de monter à cheval plutôt que de marcher. Si, au contraire, des patterns d'états internes négatifs avaient été associés à la situation consistant à monter à cheval, alors les représentations extéroceptive-intéroceptive auraient participé à la prise de décision de continuer à marcher.

Le troisième processus implique l'activation de représentations en mémoire associative. Ce processus, contrairement à ceux décrits ci-dessus, conduit à une identification consciente de son propre état émotionnel. Scherer (1994) a proposé que la fonction principale des émotions soit de « découpler le stimulus et la réponse » ; il semble que le processus que nous décrivons maintenant assure notamment cette fonction, alors que ce n'est pas le cas des deux processus décrits plus haut. Considérons la situation dans laquelle l'individu, pendant qu'il est à cheval, fait face à un chien errant potentiellement dangereux. Le traitement d'une telle situation engendre une activation diffuse de représentations en mémoire associative. Cette activation de connaissances sémantiques est provoquée par l'engagement de nombreux sous-systèmes cognitifs dont certains ne sont pas décrits ici (voir Kosslyn & Koenig, 1995). L'activation de représentations en mémoire associative, reflétant le fait que de nombreux aspects de la situation sont identifiés, peut conduire à l'engagement d'un des deux sous-systèmes de génération d'instructions émotionnelles. Par exemple, le comportement de fuir le chien engage le sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'évitement. Une fois que les instructions sont générées, elles sont converties par l'intermédiaire du sous-système d'exécution émotionnelle en une expression émotionnelle (p.ex., modifications autonomes, endocrines, faciales et posturales corrélées avec le comportement de fuite). Cette expression émotionnelle représente un état interne qui est analysé, comme toute information perceptive, par un sous-système de pré-traitement et un sous-système d'activation de patterns. Lorsqu'un état interne est activé (i.e., un état interne particulier est reconnu comme familier), l'information transmise par le sous-système d'activation de patterns d'états internes à la mémoire associative est complétée par l'information provenant du sous-système d'appariement somatotopique. Si l'état interne est identifié dans le contexte des représentations activées en mémoire associative par la situation, alors l'individu ressent l'expérience émotionnelle consciente « d'avoir peur du chien » car de nombreux aspects de la situation, incluant l'émotion, sont identifiés.

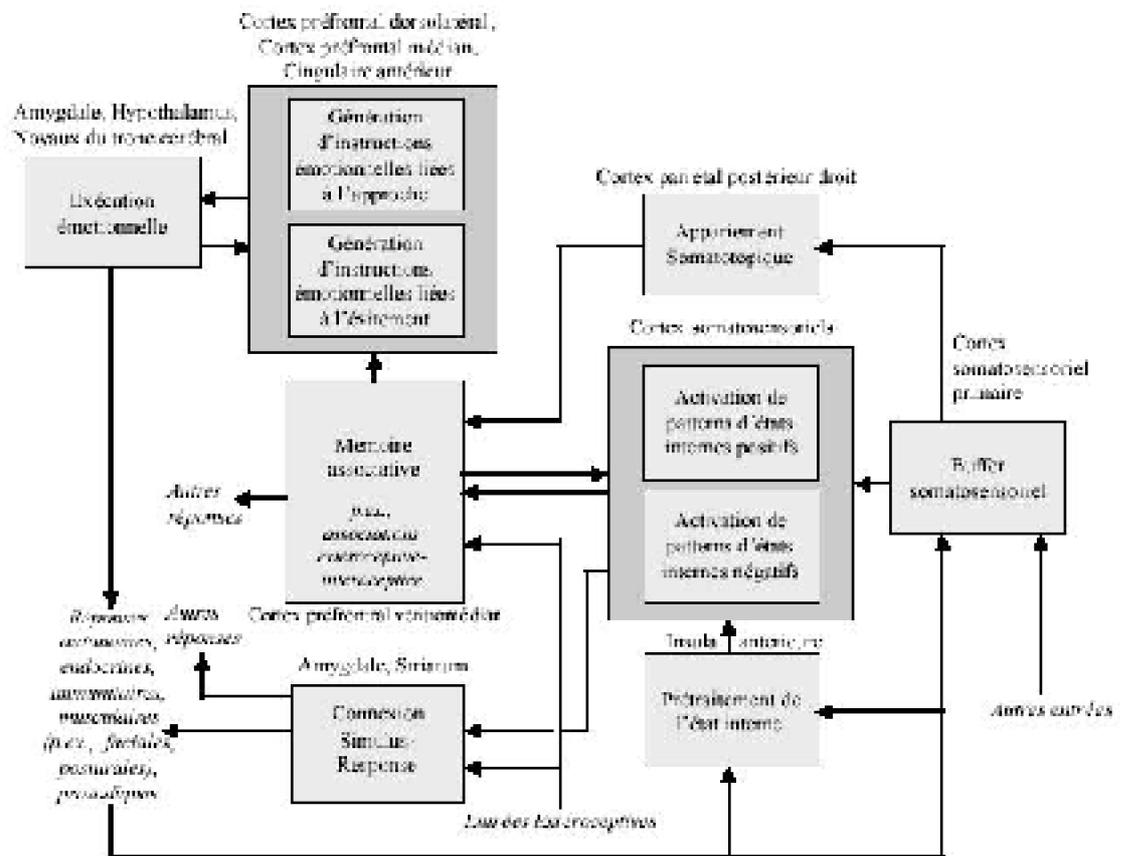


Fig. 3.1. Modèle computationnel des mécanismes émotionnels proposé par Sander et Koenig (sous presse) se fondant sur l'analyse computationnelle des émotions effectuée par Kosslyn et Koenig (1995) et sur les contraintes développées au chapitre 2.

Chapitre 4. Hypothèses : polarité-dépendance dans l'évaluation émotionnelle explicite et implicite

La partie expérimentale de notre travail doctoral a consisté à tester deux hypothèses qui nous sont apparues comme déterminantes dans notre réflexion théorique visant à établir un modèle des émotions (voir chapitres 2 et 3).

Précisément notre objectif était de tester :

1.
L'hypothèse de polarité dans l'évaluation émotionnelle (voir la contrainte computationnelle CC 4)
2.
L'hypothèse d'évaluation automatique (voir la contrainte computationnelle CC 5)

Nous avons choisi de tester ces deux hypothèses car elles permettent d'étudier la nature et le niveau de traitement des mécanismes impliqués dans l'évaluation de stimuli émotionnels. Identifier la nature des mécanismes computationnels impliqués dans l'évaluation émotionnelle ainsi que le niveau de traitement dans lequel ces mécanismes sont engagés est un objectif fondamental dans toute tentative d'élaboration d'une architecture fonctionnelle des émotions.

La validation de l'hypothèse de polarité serait un argument fort en faveur de la dissociation du sous-système d'activation de patterns d'états internes et du sous-système de génération d'instructions émotionnelles en sous-systèmes polarité-dépendants. Une telle dissociation est une caractéristique fondamentale du modèle.

Un débat s'est développé autour de l'hypothèse de polarité. Ce débat, présenté ci-dessous, a été choisi comme point d'encrage de la thèse avec la conviction que les méthodes et concepts de la neuroscience cognitive pourraient y contribuer. Ensuite, les arguments principaux suggérant que l'évaluation peut se produire dans un mode automatique seront présentés. Finalement, avant d'introduire la partie expérimentale, les principales hypothèses relatives à l'asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels seront discutées.

L'hypothèse de polarité

L'hypothèse selon laquelle une étape critique de l'évaluation d'une situation émotionnelle consiste à déterminer si celle-ci est agréable ou désagréable est émise par les principaux modèles de l'*appraisal* en psychologie (p.ex., Frijda, 1987 ; Scherer, 1984 ; voir Scherer, 1999). Au niveau comportemental, l'hypothèse selon laquelle certains mécanismes émotionnels sont différenciellement sensibles aux situations positives vs négatives (i.e., l'hypothèse de polarité) est notamment motivée par le fait que le comportement typique provoqué par les stimuli positifs vs négatifs est si différent (p.ex., approcher un stimulus positif vs éviter un stimulus négatif, voir CC 8) que différents sous-systèmes pourraient implémenter ces comportements (Davidson, 1995 ; Lang, 1995). Notons que, au niveau cognitif, cette hypothèse est l'objet d'un débat intense depuis les années 1970 qui l'oppose à l'hypothèse alternative de l'existence d'un système unitaire bipolaire selon laquelle les expériences émotionnelles négatives et positives sont les deux extrêmes d'un continuum (sur ce débat, voir Cacioppo, & Bernston, 1994 ; Russell & Carroll, 1999; Watson & Tellegen, 1999). Au coeur de ce débat, se situe la question de l'indépendance entre les émotions positives et négatives. Comme le remarquent, avec regret, Russel et Carroll (1999, p. 3), « **Evidence has challenged the bipolar view so often that it now seems on its deathbed, and independance has taken its place as the prevailing assumption** ». Une telle évolution dans la pensée scientifique a d'ailleurs été soulignée par le *National Advisory Mental Health Council* américain qui écrivait en 1995 : « **while one would ordinarily think that positive and negative emotions are opposites, apparently this is not the case.** »

Dans l'étude des représentations émotionnelles en mémoire, De Houwer et Hermans (1994) ont proposé que les affects soient stockés en mémoire sémantique et puissent être conceptualisés comme des liens évaluatifs bons ou mauvais (*evaluative tag, good or bad*) directement liés aux représentations associées. Cette proposition a été avancée pour expliquer notamment les effets de congruence émotionnelle dans des tâches d'amorçage (p.ex., Fazio, Sanbonmatsu, Powell, & Kardes, 1986 ; voir le paragraphe concernant la contrainte CC 5 et Versace, 2002). Une des implications de cette proposition est que tout

stimulus perçu par un individu est, au minimum, catégorisé comme « bon » ou « mauvais » pour son organisme. Niedenthal, Halberstadt, et Innes-Ker (1999) ont récemment développé une théorie qui souligne le rôle fonctionnel d'un processus de catégorisation qui se fonderait sur la valeur émotionnelle d'un événement ou d'une situation. La catégorisation selon la réponse émotionnelle (*emotional response categorization*) est définie comme suit par Niedenthal et al. (1999, p. 338) : « ***It is the mental grouping together of objects and events that elicit the same emotion, and the treatment of those objects and events as 'the same kind of thing'*** .» Selon ces auteurs (p. 339), certains effets de congruence émotionnelle suggèreraient l'existence de « ***two superordinate emotional response categories :things that evoke positive feelings and things that evoke negative feelings.*** » Cependant, en s'appuyant sur les résultats d'études utilisant des stimuli liés à des émotions discrètes spécifiques (p.ex., joie, colère, tristesse, peur, et dégoût) plutôt que des stimuli positifs ou négatifs (p.ex., Niedenthal, Halberstadt, & Setterlund, 1997), Niedenthal et al. (1999) ont suggéré que la catégorisation se baserait sur des émotions spécifiques (voir aussi CC 10). Dans ce cas, les mécanismes de catégorisation ne seraient pas polarité-dépendants mais dépendraient d'émotions spécifiques.

Une perspective évolutionniste de la variété des processus attentionnels permet de suggérer l'existence de mécanismes polarité-dépendants. *Homo Sapiens* vivait (et continue à vivre) dans un environnement dans lequel, pour pouvoir se reproduire, il devait (i) éviter les stimuli négatifs tels que les prédateurs et (ii) rechercher les stimuli positifs telle que la nourriture. Or, ces deux catégories de stimuli différaient largement dans leurs conditions d'apparition : les premiers pouvaient survenir de façon imprévue et devaient être détectés le plus rapidement possible, alors que les seconds étaient activement recherchés. Comme le proposent Öhman, Flykt, et Esteves (2001), les stimuli dangereux seraient détectés de façon pré-attentive par des mécanismes attentionnels guidés par les stimuli alors que les stimuli positifs seraient plutôt recherchés par l'intermédiaire de mécanismes attentionnels guidés par des buts. Ainsi, l'engagement de l'attention exogène et de l'attention endogène dépendrait de la polarité du stimulus.

Pour tenter de déterminer si des mécanismes émotionnels sont polarité-dépendants, un appel au cerveau pourrait être utile si l'on considère qu'un moyen de dissocier des sous-systèmes est de démontrer qu'ils sont implémentés dans des réseaux de neurones distincts (p.ex., dans des hémisphères cérébraux distincts).

Bien qu'un tel appel ait été une priorité de la neuroscience affective depuis son émergence (voir Davidson & Sutton, 1995), les résultats relatifs à l'hypothèse de polarité divergent d'une façon non encore comprise (voir Canli, 1999 ; Davis & Whalen, 2001 ; Sander & Koenig, sous presse). Il nous semble qu'au niveau cérébral, trois corpus principaux de données apparemment contradictoires orientent le débat. Les deux premiers sont relatifs à l'asymétrie hémisphérique et le troisième est relatif au domaine de spécialisation de l'amygdale.

Le premier corpus, que nous présenterons en détail dans la section de ce chapitre concernant l'asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels (voir aussi la contrainte CN 1), oppose deux modèles à un troisième. Précisément, le modèle d'activation antérieure asymétrique et le modèle de valence soutiennent l'hypothèse de

polarité puisqu'ils s'accordent tous deux sur un avantage hémisphérique gauche pour les émotions positives liées à l'approche et un avantage hémisphérique droit pour les émotions négatives liées à l'évitement. En revanche, le modèle de l'hémisphère droit ne soutient pas l'hypothèse de polarité car il suppose un avantage hémisphérique droit pour le traitement des informations émotionnelles positives et négatives.

Le second corpus, que nous passerons en revue également dans la section de ce chapitre concernant l'asymétrie hémisphérique, oppose, d'une part, les prédictions communes présentées ci-dessus du modèle d'activation antérieure asymétrique et du modèle de valence à, d'autre part, un ensemble de résultats qui n'est interprété, à notre connaissance, par aucun modèle. Cet ensemble de résultats, principalement issus d'études en IRMf et en TEP, suggère que certaines structures de l'hémisphère *gauche*, notamment l'amygdale, soient plus impliquées dans les émotions *négatives* que leurs homologues droites, contredisant ainsi une des prédictions principales du modèle de valence.

Le troisième corpus oppose l'interprétation classique du rôle de l'amygdale à un ensemble de résultats, principalement issus d'études en IRMf et en TEP. Précisément, les études pionnières chez l'animal (Weiskrantz, 1956), chez le patient cérébrolésé (Adolphs et al., 1995 ; Sprengelmeyer et al., 1999) et en imagerie cérébrale (Irwin et al., 1996) ont suggéré que l'amygdale soit impliquée dans le traitement des stimuli négatifs (p.ex., Irwin et al., 1996), particulièrement liés à la peur (p.ex., Morris et al., 1996) et à la menace (p.ex., Isenberg et al., 1999). De façon cohérente, le fait d'observer, en TEP, une activation amygdalienne en réponse à des photographies négatives, relativement à des photographies positives, mais pas relativement à des photographies neutres a conduit Paradiso et al. (1999) à proposer que l'amygdale soit impliquée dans l'évaluation d'une vaste classe de stimuli négatifs mais pas dans l'évaluation de stimuli positifs. Un tel domaine de spécialisation de l'amygdale a même conduit Öhman et Mineka (2001) à proposer que cette structure soit critique dans l'implémentation d'un module de la peur (*a fear module* ; voir aussi Zalla & Sander, sous presse). Cet ensemble de résultats indique donc que l'amygdale serait polarité-dépendante, soutenant ainsi l'hypothèse de polarité. Cependant, cette interprétation est incompatible avec un nombre croissant de résultats récents issus de recherches chez l'animal (voir Davis & Whalen, 2001 ; Everitt et al., 2000) et chez l'homme suggérant une implication de l'amygdale dans le traitement de stimuli positifs tels que des visages exprimant la joie (p.ex., Breiter et al., 1996; Gorno-Tempini et al., 2001), des mots positifs (Hamann & Mao, 2002), des photographies positives (Hamann et al., 1999; Hamann et al., 2002; Garavan et al., 2001), des saveurs positives ou même leur attente (O'Doherty et al., 2001 ; 2002), des extraits de vidéos érotiques (Beauregard et al., 2001; Karama et al., 2002), des films induisant l'amusement (Aalto et al., 2002) et les récompenses (voir Baxter & Murray, 2002 ; Small, 2002 ; Zalla et al., 2000).

A notre connaissance, les données impliquant le striatum ventral (p.ex., Kampe, Frith, Dolan, & Frith, 2001 ; Koeppe et al., 1998 ; voir Davidson & Irwin, 1999), principalement le noyau caudé (Hamann & Mao, 2002) et le noyau accumbens (Breiter et al., 1997 ; Stein et al., 1998) dans le traitement de la récompense, la recherche d'un but positif, et dans les émotions positives plutôt que négatives, sont peu controversées et soutiennent

l'hypothèse de polarité (voir aussi Cacioppo, Gardner, & Berntson, 1999). Le rôle du noyau caudé dans les mécanismes de motivation (p.ex., Habib & Poncet, 1988) nous paraît d'ailleurs compatible avec ces résultats.

Evaluation automatique

Il est frappant de remarquer à quel point la problématique liée à l'hypothèse de polarité et celle liée à l'évaluation automatique se rejoignent à la fois dans les théories et dans les paradigmes expérimentaux. Ainsi, les études qui se sont intéressées à l'automatisme des mécanismes évaluatifs l'ont souvent fait en se focalisant sur la polarité. Ceci apparaît clairement chez Hermans, De Houwer, et Eelen (1994 p. 529) qui ont décrit que : **«in recent cognitive-representational theories of emotion the concept that organisms are capable of automatically evaluating environmental stimuli/events as good or bad has gained much support.** » Le thème de l'automatisme des mécanismes polarité-dépendants est également au coeur de notre travail expérimental présenté dans les chapitres 4 et 5.

Des arguments soutenant l'hypothèse d'une évaluation émotionnelle automatique ont émergé principalement du paradigme d'amorçage émotionnel, du paradigme de Stroop émotionnel, du paradigme de simple exposition, du paradigme de conditionnement, d'études en imagerie cérébrale et chez le patient cérébrolésé.

Fazio et al. (1986) ont été les premiers à démontrer un effet de congruence émotionnelle en employant le paradigme d'amorçage émotionnel. Ces auteurs ont montré que, avec un intervalle inter-stimuli (ISI) de 300 ms, le temps nécessaire pour évaluer la polarité émotionnelle du mot cible était plus court si le mot amorce était émotionnellement congruent (i.e., si l'amorce et la cible avaient la même polarité émotionnelle, positive ou négative). Depuis, cet effet a été répliqué dans de nombreuses études et ce paradigme a été utilisé comme outil pour démontrer le caractère automatique de l'évaluation émotionnelle. En effet, un indice d'automatisme a pu être mis en évidence : l'effet d'amorçage émotionnel, obtenu avec un ISI de 300 ms, n'a pas été mis en évidence pour un ISI de 1000 ms; et cela que les stimuli utilisés soient des mots (Fazio et al., 1986; De Houwer et al., 1998) ou des images (Hermans et al., 1994). Il est également intéressant de noter que l'effet d'amorçage émotionnel a tout de même été obtenu en utilisant des tâches dans lesquelles le participant n'était pas invité à juger la valeur émotionnelle des stimuli cibles, mais devait simplement lire le mot (Hermans et al., 1994).

Des résultats provenant d'études utilisant le paradigme de Stroop émotionnel (voir chapitre 5) ont pu montrer que certains patients ayant des troubles émotionnels étaient significativement plus lents pour dénommer la couleur de mots négatifs que pour dénommer la couleur de mots neutres (voir Williams et al., 1996). Ce ralentissement dans le jugement de couleur selon la valeur émotionnelle des stimuli (effet Stroop émotionnel) indique que la valeur émotionnelle a été évaluée de façon implicite. L'effet Stroop émotionnel a également pu être mis en évidence chez le sujet normal (p.ex., McKenna & Sharma, 1995 ; Sharma & McKenna, 2001).

En interprétant l'effet de simple exposition, Zajonc (1980) a proposé que les individus marquent une préférence affective pour les stimuli brièvement présentés qui ne sont pas reconnus. Les stimuli induisant un tel effet sont typiquement des figures géométriques présentées durant un temps extrêmement court (2 à 5 ms) puis masquées.

Les résultats provenant d'études utilisant le paradigme de conditionnement émotionnel convergent également pour suggérer une dissociation entre l'évaluation automatique et l'identification chez l'homme et chez l'animal (voir LeDoux, 1996). Ainsi, Öhman et Soares (1998) ont étudié chez l'homme le conditionnement émotionnel de stimuli liés à la peur et ont montré que les participants étaient capables d'extraire la valeur émotionnelle de ces stimuli alors que ces derniers étaient masqués et non reconnus.

Les études en imagerie cérébrale ont également apporté des arguments importants dans l'étude de l'évaluation automatique. Par exemple, en utilisant une tâche de Stroop émotionnel, Isenberg et al. (1999) ont montré que l'amygdale était plus activée durant la dénomination de la couleur de mots liés à la menace que durant la dénomination de la couleur de mots neutres. L'amygdale a également été activée par des visages émotionnels présents dans le champ attentionnel mais traités de façon incidente. De plus, il a été démontré que l'amygdale répond aux visages non reconnus exprimant la peur alors que ceux-ci ne sont pas pertinents pour la tâche et sont présentés hors du champ de la conscience (Morris et al., 1998b, 1999, 2001a; Whalen et al., 1998) et hors du champ attentionnel spatial (Vuilleumier et al. 2001a). En utilisant la technique d'IRMf événementielle, Morris, Buchel, et Dolan (2001) ont montré que la région ventrale amygdalienne était impliquée dans l'apprentissage émotionnel inconscient dans un paradigme de conditionnement de peur implicite.

Des données issues de l'étude de patients cérébrolésés ayant des troubles de la conscience ont également suggéré l'automatisme de l'évaluation émotionnelle.

Ainsi, le test de patients *blindsight* a permis de montrer que la discrimination de visages émotionnels (de Gelder, Vroomen, Pourtois, & Weiskrantz, 1999; de Gelder, Pourtois, van Raamsdonk, Vroomen, & Weiskrantz, 2001) et de photographies émotionnelles (de Gelder, Pourtois, & Weiskrantz, 2002) non vues consciemment était possible (voir la contrainte CN3).

De plus, en testant un patient *split-brain*, qui représente un bon modèle pour dissocier l'évaluation automatique de l'identification, Ladavas et al. (1993) ont montré que le cerveau peut produire des réponses physiologiques sans identification consciente des stimuli émotionnels.

Un autre argument en faveur de l'évaluation émotionnelle automatique vient de l'étude de patients héminégligents. Ainsi, Vuilleumier et Schwartz (2001) ont pu montrer que les stimuli émotionnels négatifs étaient capables de capturer l'attention des patients dans la partie négligée de l'espace (voir aussi Vuilleumier et al., 2002).

Les résultats obtenus par Damasio et son équipe suggérant que certaines prises de décisions sont modulées par les états somatiques qui ont été associés aux différentes alternatives sont également en faveur de l'existence de mécanismes évaluatifs automatiques puisque les états somatiques en question seraient activés automatiquement (hypothèse des marqueurs somatiques, voir Damasio, 1994). Par exemple, l'évaluation

émotionnelle automatique pourrait être impliquée dans les mécanismes de prises de décision et permettre de « **décider avantageusement avant de connaître la stratégie avantageuse** » (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997).

Enfin, deux résultats obtenus par Anderson et Phelps (2001) en testant des sujets normaux et des patients ayant une lésion de l'amygdale ont également contribué au débat sur l'automatisme de l'évaluation. Premièrement, ces auteurs ont observé chez le sujet normal, en utilisant le paradigme de clignement attentionnel (*attentional blink*), une modulation de l'effet de clignement attentionnel selon la valeur émotionnelle (négative ou neutre) de la seconde cible (T2) à rapporter parmi les distracteurs. En effet, les sujets identifiaient significativement mieux les T2 négatifs que les T2 neutres. De plus, ces résultats chez le sujet normal indiquaient que le degré de facilitation pour les T2 négatifs était plus prononcé lorsque l'intervalle inter cibles (délai entre T1 et T2) était inférieur à 600 ms, condition expérimentale dans laquelle, selon les auteurs, les ressources attentionnelles étaient les plus engagées dans le traitement de T1. Deuxièmement, ces auteurs ont observé que, contrairement aux contrôles, leurs patients présentant une lésion bilatérale ou unilatérale gauche de l'amygdale ne montraient pas d'avantage significatif dans l'identification des T2 négatifs par rapport aux T2 neutres. De plus, dans les conditions avec un intervalle inter cibles inférieur à 600 ms, la patiente SP, présentant une lésion bilatérale, obtenait un score d'identification des stimuli négatifs significativement inférieur à celui des contrôles. Dans l'ensemble, les résultats comportementaux obtenus par Anderson et Phelps (2001) suggèrent qu'une fonction de l'amygdale est d'augmenter la sensibilité perceptive aux événements importants pour l'organisme en rendant ainsi leur évaluation moins dépendante des processus attentionnels. Cette faible dépendance aux processus attentionnels est un argument supplémentaire en faveur de l'existence de processus évaluatifs automatiques.

Asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels

Le débat le plus vif concernant les bases cérébrales des émotions concerne la question de la latéralisation des mécanismes émotionnels (voir Habib, 1998 ; Silberman & Weingartner, 1986). A la question « **Why should there be some lateralization of emotional processing in human?** » posée par Rolls (1999, p.146), il est possible de répondre par la logique de l'évolution. En effet, si une fonction n'a pas besoin d'être représentée de façon bilatérale à cause de la topologie du corps, alors selon le principe de partage du travail (voir Kosslyn & Koenig, 1992), il est plus efficace de placer proches les uns des autres les groupes de neurones concernés par cette fonction. Un avantage du regroupement des neurones participant à la même computation est de minimiser la longueur des connexions entre ces neurones. La minimisation de la longueur des connexions, et par conséquent de la taille et du poids du cerveau, est considérée comme un avantage dans l'évolution des espèces.

Nous présentons ci-dessous les hypothèses principales qui orientent la littérature relative à la latéralisation hémisphérique des mécanismes émotionnels. Une première distinction peut être établie entre ces hypothèses. Ainsi, les quatre premières hypothèses que nous présentons soulignent les *avantages au niveau hémisphérique*, alors que les deux suivantes se placent au niveau des systèmes en insistant sur la *spécificité cognitive de sous-systèmes latéralisés*.

Hypothèse de l'hémisphère droit

La première hypothèse, appelée « hypothèse de l'hémisphère droit », est principalement fondée sur des données issues de l'étude de patients cérébrolésés et a constitué le modèle dominant jusque dans les années 1990 ; elle suppose un avantage général de l'hémisphère droit pour les mécanismes émotionnels (voir Borod et al., 1998; Borod & Madigan, 2000). En effet, des arguments neuropsychologiques sont en faveur de cette hypothèse pour l'expression d'items lexicaux émotionnels (p.ex., Borod et al., 1996) et dans la production (Borod, Haywood, & Koff, 1997 ; Borod, Kent, Koff, Martin, & Alpert, 1988 ; Borod et al., 1998 ; Sackeim, Gur, & Saucy, 1978) et le traitement (Ahern et al., 1991; Blonder, Bowers, & Heilman, 1991; Ley & Bryden, 1979; Mandal, Tandon, & Asthana., 1991) des expressions faciales émotionnelles. L'étude de patients cérébrolésés unilatéraux a également permis à Borod et al. (1998) de montrer un avantage de l'hémisphère droit dans la perception émotionnelle, non seulement de l'expression faciale, mais également dans la perception de mots et de la prosodie. Un avantage de l'hémisphère droit a également été suggéré pour le traitement de scènes visuelles autres que des visages (p.ex., Wittling & Roschmann, 1993). Par exemple, Zoccoloti et al. (1986) ont recherché les perturbations des réponses végétatives à des films positifs, négatifs ou neutres chez les patients porteurs de lésions hémisphériques unilatérales. L'étude a révélé que les patients atteints de lésion droite étaient très peu sensibles à la nature émotionnelle ou non émotionnelle des stimuli utilisés et n'ont jamais présenté d'augmentation significative de la conductance cutanée, ni de modification nette de la fréquence cardiaque. Ces résultats corroborent l'hypothèse selon laquelle l'hémisphère droit est prédominant dans l'élaboration des réactions du système nerveux autonome aux stimuli émotionnels. En mesurant la pression artérielle comme indice d'activation neurovégétative, Wittling (1990) a abouti à la même conclusion. La technique consistait à présenter un film spécifiquement à un hémisphère durant plusieurs minutes en autorisant des saccades oculaires libres. Un avantage de l'hémisphère droit a été trouvé lors de la présentation d'un film de 3 minutes relatant une scène d'amour. Notons que Dimond et al. (1976), puis Dimond et al. (1977) avaient déjà montré, en utilisant une méthode proche de celle de Wittling (1990), que la présentation d'un film négatif à l'hémisphère droit induit une réaction végétative plus importante que la présentation à l'hémisphère gauche. De plus, selon Damasio (1994), le trouble d'indifférence émotionnelle lié à l'anosognosie est spécifique à l'hémisphère droit. Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse selon laquelle l'hémisphère droit a un rôle privilégié dans la modulation de l'état corporel lors de réactions émotionnelles.

Hypothèse de valence

Vers la fin des années 1950, l'hypothèse d'un lien entre spécialisation hémisphérique et expérience émotionnelle a été émise. Les études conduisant à l'élaboration de cette hypothèse ont toutes utilisé le même procédé : l'inactivation sélective d'un hémisphère cérébral par le test de Wada. Gainotti (1994, p. 479) nous rapporte que trois recherches, la première datant de 1959 et les deux autres de 1960, ont montré qu'une inactivation de l'hémisphère gauche est généralement suivie d'une réaction « dépressivo-catastrophique » tandis qu'une inactivation de l'hémisphère droit engendre un comportement « euphorique ou maniaque ». L'interprétation prédominante a alors été que les réactions dépressivo-catastrophiques résultaient de l'inactivation d'un « centre pour les émotions positives » qui serait situé dans l'hémisphère gauche alors que les réactions euphoriques résultaient de l'inactivation d'un « centre pour les émotions négatives » qui serait situé dans l'hémisphère droit. Signalons cependant que certaines études récentes utilisant le test de Wada (p.ex., Rey et al., 1991) n'ont pas retrouvé de tels résultats et que la prudence s'impose sur leur interprétation (voir aussi Habib, 1998a pp. 592-594). Des études chez des patients cérébrolésés unilatéraux ont également contribué à soutenir cette hypothèse. Par exemple, Sackeim et al. (1982) ont observé que les rires pathologiques étaient principalement associés à des lésions de l'hémisphère droit, alors que les pleurs pathologiques étaient principalement associés à des lésions de l'hémisphère gauche. Ces auteurs ont résumé leur proposition théorique de la façon suivante : **« We present the view that destructive lesions result in disinhibition of contralateral regions regulating emotional experience, and that the left side of the brain typically subserves positive emotion to a greater extent than the right, whereas the reverse holds for negative emotion »** Sackeim et al. (1982, p. 216). Il est à noter que ces auteurs font de l'hypothèse de connexions inhibitrices contralatérales un aspect critique de leur proposition.

Hypothèse des niveaux de traitement

Gainotti (1969) a proposé une interprétation alternative des résultats principaux soutenant « l'hypothèse de valence ». Suite à ses observations, il a considéré **« la réaction catastrophique comme statistiquement caractéristique des lésions de l'hémisphère dominant, et l'indifférence aux événements frustrants comme le propre des atteintes de l'hémisphère mineur »** (Gainotti, 1969, p. 197). Remarquons que Gainotti juge plus approprié de proposer une opposition entre « réaction catastrophique » vs « manifestation d'indifférence » plutôt qu'une opposition « dépression » vs « euphorie ». Selon cet auteur, dans la mesure où les patients dont l'hémisphère gauche est lésé présentent des crises d'angoisse quasi-exclusivement lorsqu'ils sont confrontés à des difficultés majeures (p. ex., troubles moteurs), Gainotti suppose qu'il s'agit d'une réaction normale, non-dépressive, face à une situation dramatique et catastrophique que vit le patient et qu'il a du mal à contrôler. D'autre part, selon cet auteur, il serait erroné de qualifier d'euphoriques les patients ayant une lésion droite car ils se révèlent insensibles aux échecs lors de l'examen neuropsychologique, indifférents à la maladie et expriment

de la haine à l'égard de leurs membres paralysés. Un autre argument, évoqué par Damasio (1994), relatif aux comportements des patients anosognosiques (lésion droite) nous semble en faveur de l'interprétation de Gainotti. En se référant à ce type de patients, Damasio (1994) a décrit que lorsqu'on les informe qu'ils ont subi une grave atteinte cérébrale ou bien qu'ils souffrent d'un cancer généralisé, ils reçoivent la nouvelle avec sérénité, faisant preuve quelquefois d'humour noir, mais ne montrent jamais angoisse ni tristesse, chagrin ni colère, désespoir ni panique. Or, si ces mêmes nouvelles sont communiquées à un patient atteint d'une lésion affectant l'hémisphère gauche de façon symétrique, la réaction de ce dernier sera tout à fait normale.

L'interprétation des effets d'asymétrie hémisphérique que propose Gainotti peut être résumée comme suit : « **...les deux côtés du cerveau jouent un rôle complémentaire dans les conduites émotionnelles, l'hémisphère droit étant plus impliqué dans les composantes végétatives de base et l'hémisphère gauche dans les fonctions de contrôle supérieur des émotions** » Gainotti (1994, p.482).

Cette interprétation se base sur un certain nombre de résultats expérimentaux. Les études portant sur les réponses végétatives aux stimuli émotionnels chez les sujets atteints de lésions hémisphériques unilatérales ont mis en évidence une baisse des réponses psychophysiologiques chez des patients cérébrésés droits (Zoccolotti, Caltagirone, Benedetti, & Gainotti, 1986). Làdavas, Cimatti, Del Pesce, et Tuozzi (1993) ont abouti à une conclusion similaire en testant un patient *split-brain*. De plus, Mammucari et al. (1988) ont observé que, pendant la projection de films déplaisants, les participants normaux et les patients cérébrésés gauches tendaient à adopter un comportement d'évitement en détournant leur regard de l'écran. Le fait que les patients cérébrésés droits n'adoptent pas ce comportement d'évitement serait la manifestation de leur indifférence.

D'autre part, House, Dennis, Molyneux, Warlow, et Hawton (1989) ont souligné que des épisodes de pleurs brusques, imprévisibles et incontrôlables sont observés fréquemment chez des patients cérébrésés antérieurs gauches. De plus, certaines études ont mis en évidence une expressivité importante de l'hémivisage gauche (hémisphère droit) pour les émotions négatives mais pas pour les émotions positives (voir Borod et al., 1997 pour revue). Ce résultat est à mettre en relation avec le fait que le sourire, expression faciale positive typique, est le plus utilisé dans la communication sociale. Or, puisqu'il s'agit d'une expression produite fréquemment de façon contrôlée, cette observation est cohérente avec l'hypothèse d'une dominance de l'hémisphère gauche pour les fonctions de contrôle émotionnel (voir aussi Laurent & Thomas-Antérion, 1998 pour une discussion sur la latéralisation du contrôle émotionnel).

L'hypothèse des émotions primaires vs sociales

Ross, Homan, et Buck (1994 ; voir aussi Prodan, Orbelo, Testa, & Ross, 2001) ont proposé l'existence de deux classes d'émotions étant différenciellement latéralisées. Les émotions primaires (p.ex., peur, dégoût) seraient innées, universelles et modulées par l'hémisphère droit. En revanche, les émotions sociales (p.ex., culpabilité, honte) seraient apprises, non universelles et modulées par l'hémisphère gauche. De plus, l'hémisphère

gauche assurerait le contrôle volontaire des émotions. Ces auteurs ont émis cette proposition sur la base d'études cliniques utilisant le test de Wada (Ross et al., 1994). Durant les injections dans l'hémisphère droit, il était demandé aux patients de se rappeler verbalement un événement durant lequel une expérience émotionnelle primaire avait été ressentie. Cet événement avait été identifié comme tel avant que le test de Wada ne soit administré. La plupart des patients étaient déficitaires dans le rappel de la dimension émotionnelle primaire, mais pas factuelle, de cet événement. Précisément, cette inactivation provoquait un rappel centré sur une expérience émotionnelle sociale plutôt que primaire, conduisant même certains patients à nier avoir fait l'expérience d'une émotion primaire durant cet événement. Ces auteurs étendent leur hypothèse au système mnésique en proposant que les expériences émotionnelles sociales liées aux événements vécus soient stockées dans l'hémisphère gauche, alors que les expériences émotionnelles primaires liées aux événements vécus soient stockées dans l'hémisphère droit.

Cette hypothèse peut être rapprochée de celle émise par Gainotti pour deux raisons. Tout d'abord, elle propose une alternative aux hypothèses classiques de latéralisation (hypothèse de l'hémisphère droit, et hypothèse de valence). Ensuite, elle propose un rôle différentiel des hémisphères selon le niveau de l'émotion en attribuant à l'hémisphère gauche un rôle dans le contrôle émotionnel.

L'hypothèse d'activation antérieure asymétrique

L'hypothèse d'activation antérieure asymétrique, développée par Davidson depuis les années 1980, a été élaborée notamment sur la base de l'hypothèse de valence. L'élaboration a principalement consisté à (i) préciser la localisation des réseaux de neurones impliqués et à (ii) proposer que la dimension critique soit motivationnelle et orientée par la tendance à l'action (approche-évitement). Nous avons exposé l'hypothèse d'activation antérieure asymétrique dans la contrainte CC8. Selon cette hypothèse, la région antérieure gauche est associée aux émotions liées à l'approche alors que l'activation de la région antérieure droite est associée à celles liées à l'évitement (Davidson, 1995).

Cette hypothèse repose sur un vaste faisceau d'arguments. Nous présenterons dans un premier temps, les principaux arguments suggérant que la région frontale gauche soit préférentiellement impliquée dans les processus d'approche. Dans un second temps, nous présenterons les principaux arguments suggérant que la région frontale droite soit préférentiellement impliquée dans les processus d'évitement.

Région frontale gauche et processus d'approche. D'un point de vue conceptuel, deux arguments peuvent être présentés. Premièrement, les travaux de Luria (1973) tendaient à considérer la région frontale gauche comme un centre important pour l'intention, l'auto-régulation et la planification. Les fonctions attribuées à cette région sont celles qui sont historiquement liées à la volonté. Ceci implique que cette région puisse être supposée sous-tendre les comportements d'approche. Deuxièmement, le fait que, au cours du développement ontogénétique, les enfants approchent et saisissent les objets qui les intéressent avec la main droite plus souvent qu'avec la main gauche est

également cohérent avec l'hypothèse de Davidson. Ainsi, l'acte de préhension avec la main droite et les affects positifs sont considérés comme la manifestation collective d'un circuit cérébral sous-tendant le comportement d'approche. La région frontale gauche servirait de zone de convergence à ce circuit (voir Davidson, 1995).

D'un point de vue expérimental, les arguments suivants nous semblent être les principaux :

La réaction dépressivo-catastrophique survenant suite à une lésion cérébrale gauche se produit plus fréquemment lorsque la lésion est frontale (Robinson, Kubos, Starr, Rao, & Price, 1984). Selon Davidson, la meilleure caractérisation des symptômes recouvrant cette réaction est de considérer qu'il s'agit d'un trouble de l'approche.

Des mesures électrophysiologiques ont établi que des sujets considérés comme ayant des dispositions à la dépression (Schaffer, Davidson, & Saron, 1983), des sujets anciens dépressifs (Henriques & Davidson, 1990) et des patients dépressifs (Henriques & Davidson, 1991) ont une activation frontale gauche basale inférieure à celle des participants contrôles (voir aussi Davidson, Pizzagalli, Nitschke, & Putnam, 2002).

Les individus dont le niveau d'activation de base de la région antérieure gauche est supérieur à la norme rapportent avoir plus de dispositions affectives positives et moins de dispositions négatives que les individus dont l'hyperactivation est droite (Tomarken, Davidson, Wheeler, & Doss, 1992).

Ekman, Davidson, et Friesen (1990) ont montré qu'un sourire reflétant la joie sincère (appelé par ces auteurs « sourire de Duchenne » en référence au neurologue français), mais pas un sourire social, était associé à une augmentation de l'activation antérieure gauche. Un résultat comparable avait été obtenu par Fox et Davidson (1988) qui ont observé une augmentation de l'activation antérieure gauche associée au sourire généré par des enfants de 10 mois à l'approche de leur mère. Sur ce point, il est intéressant de noter que Fried, Wilson, MacDonald, et Behnke (1998) ont observée chez une patiente épileptique une région de 2 x 2 cm au niveau du gyrus frontal supérieur gauche qui, lorsqu'elle était stimulée par une électrode, générait systématiquement un rire accompagné d'un sourire.

Utilisant une méthode d'induction émotionnelle par extraits cinématographiques, Davidson, Ekman, Saron, Senulis, et Friesen (1990) ont observé que la joie (émotion liée à l'approche) était associée à une activation antérieure gauche plus importante que ne l'était le dégoût (émotion liée à l'évitement).

Davidson et Fox (1982) ont suggéré que ce type d'asymétrie apparaissait très tôt dans l'ontogénèse. Ces auteurs ont montré que des enfants de 10 mois présentaient une activation antérieure gauche plus importante que l'activation antérieure droite en

réponse à des expressions faciales de joie.

Dans une tâche de visionnage passif de photographies émotionnelles positives et négatives, Canli et al. (1998) ont observé, en IRMf, une activation plus importante du gyrus frontal moyen gauche pour le traitement des stimuli positifs que pour le traitement des stimuli négatifs.

L'avantage antérieur gauche ne semble pas se limiter aux inductions visuelles. Par exemple, Kline, Blackhart, Woodward, Williams, et Schwartz (2000) ont démontré qu'une odeur agréable activait plus la région antérieure gauche qu'une odeur désagréable ou neutre.

Région frontale droite et processus d'évitement. Nous présentons maintenant les principaux arguments suggérant que la région frontale droite soit préférentiellement impliquée dans le système d'évitement.

Durant l'apparition d'un état lié à l'évitement (p.ex., peur ou dégoût) engendré par la présentation d'un film, la région antérieure droite est préférentiellement activée (Davidson et al., 1990).

Contrairement aux individus présentant une hyperactivation gauche, les individus présentant une hyperactivation droite rapportent avoir des dispositions affectives négatives (Tomarken, Davidson, Wheeler, & Doss, 1992) et ont une propension à répondre de façon accentuée à des stimuli cinématographiques induisant la peur et le dégoût (Wheeler, Davidson, & Tomarken, 1993). De plus, ces individus présentent une immunodépression si on les compare aux individus dont l'hyperactivation est gauche (Davidson, Coe, Dolski, & Donzella, 1999).

Dans leur étude présentée plus haut, Davidson et al. (1990) ont observé que le dégoût était associé à une activation antérieure droite plus importante que ne l'était la joie.

Sutton et al. (1997) ont observé, en TEP, une augmentation métabolique des parties inférieure et supérieure du cortex préfrontal droit durant la génération d'émotions négatives (liées à l'évitement) induite par la présentation de photographies émotionnelles.

Dans leur étude présentée plus haut, Canli et al. (1998) ont observé une activation plus importante du gyrus frontal moyen droit pour le traitement des stimuli négatifs que pour le traitement des stimuli positifs.

Cependant, dans certaines études, aucune différence nette n'a été obtenue dans l'incidence et la sévérité de la symptomatologie dépressive chez des patients

cérébralisés gauches vs patients cérébralisés droits (p.ex., House, Dennis, Warlow, Hawton, & Molyneux., 1990). Ces résultats sont sources d'interprétations variables qui mènent à des confusions théoriques. Selon Davidson, pour éviter ces confusions, deux précisions s'imposent. La première est que les patients cérébralisés à partir desquels ces résultats ont été obtenus avaient souvent une lésion postérieure. Deuxièmement, Davidson (1995) a proposé que l'activation asymétrique antérieure prédispose un individu à répondre avec une prédominance de l'affect positif ou négatif, *étant donné un inducteur émotionnel* approprié. Puisque cette prédominance ne s'exprime pas en situation normale mais n'apparaît que lors de la confrontation à des événements particuliers, elle peut être qualifiée, selon les termes de Jouvent, Dubal et Pierson (1999), de « trait fonctionnel ». Ainsi, en l'absence de situation génératrice spécifique, aucune différence dans la symptomatologie affective entre patients ayant des lésions dans des hémisphères distincts n'est prédite.

Par conséquent, il faudrait que l'environnement soit suffisamment stressant pour qu'un patient ayant une lésion antérieure gauche développe une symptomatologie dépressivo-catastrophique. Remarquons que ce résultat est cohérent avec l'hypothèse de Gainotti proposant un avantage de l'hémisphère gauche dans le contrôle des émotions : le patient développe cette réaction car il est incapable de contrôler ses émotions.

L'hypothèse de valence revisitée

Un ensemble de résultats issus principalement d'études en imagerie cérébrale s'oppose nettement à l'hypothèse de valence. Cet ensemble de résultats suggère que certaines structures de l'hémisphère gauche soient plus impliquées dans les émotions négatives que leurs homologues droites et que, dans une moindre mesure, certaines structures de l'hémisphère droit soient plus impliquées dans les émotions positives que leurs homologues gauches (voir Canli, 1999). Par exemple, sur la base d'une étude en IRMf, Iidaka et al. (2000) ont suggéré que le traitement de visages positifs impliquait l'hémisphère droit alors que le traitement de visages négatifs impliquait l'hémisphère gauche. Certaines études ont obtenu une activation insulaire gauche, mais pas droite, associée à la génération d'émotions négatives (George, Ketter, Parekh, Herscovitch, & Post, 1996), et au traitement de stimuli émotionnels négatifs (Irwin et al., 1996; Morris, Öhman, & Dolan, 1998; Morris, Öhman, & Dolan, 1999; Heining et al., 2000). De plus, Ketter et al. (1996) ont observé que chez des participants sains à qui de la procaine avait été injectée, l'activation de l'amygdale gauche (mais pas droite) était corrélée positivement avec l'expérience émotionnelle de peur et négativement avec celle d'euphorie. Une activation amygdalienne gauche (mais pas droite) a également été associée au traitement de stimuli émotionnels négatifs (Breiter et al., 1996; Blair, Morris, Frith, Perret, & Dolan., 1999; Morris et al., 1996; Morris et al., 1998b; Gorno-Tempini et al., 2001; Hamann & Mao, 2002; Lane et al., 1997b; Simpson et al., 2000; Taylor et al., 1998, Vuilleumier et al., 2002), au conditionnement de peur implicite (Morris, Buchel, & Dolan, 2001), au liage intermodal de la peur (Dolan et al., 2001), et à la peur instruite (*instructed fear* ; Phelps et al., 2001). Par exemple, Canli, Zhao, Brewer, Gabrieli, et Cahill (2000) ont montré que pour des photographies fortement négatives, plus un stimulus

donné activait l'amygdale gauche (mais pas la droite) plus il était probable que ce stimulus soit rappelé lors d'un test de rappel. De plus, certaines structures autres que l'amygdale et l'insula ont été observées comme étant activées dans l'hémisphère gauche durant le traitement de mots négatifs (Maddock & Buonocore, 1997; Crosson et al., 1999), de stimuli olfactifs aversifs (Zald & Pardo, 1997), et de stimuli visuels (Kosslyn et al., 1996).

Des résultats issus de l'étude de patients cérébrolésés sont également en contradiction avec l'hypothèse de valence. Ainsi, il a été rapporté que les lésions de l'hémisphère gauche affectent plus la reconnaissance des vocalisations négatives que les lésions de l'hémisphère droit (Pell, 1998). De plus, en testant des patients ayant une lésion amygdalienne unilatérale, Anderson et Phelps (2001) ont suggéré que la perception accrue des stimuli aversifs dépende de l'amygdale gauche mais pas de l'amygdale droite.

Soulignons tout de même que la plupart des études d'imagerie cérébrale présentées n'ont pas démontré statistiquement qu'une structure d'un hémisphère était plus activée que son homologue de l'autre hémisphère mais ont basé leur conclusion sur le fait qu'une structure était significativement activée alors que son homologue ne l'était pas. De plus, les plans expérimentaux ne permettaient que rarement la recherche d'une interaction polarité X hémisphère (voir l'Expérience 2 pour discussion).

Il faut aussi noter que les résultats principaux qui soutiennent cette « hypothèse de valence revisitée », c'est-à-dire ceux qui suggèrent un avantage de structures de l'hémisphère gauche pour les émotions négatives, contredisent également l'hypothèse de l'hémisphère droit.

Conclusion concernant l'asymétrie hémisphérique

Dans l'ensemble, la synthèse que nous avons exposée des hypothèses principales relatives à l'asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels indique que les résultats expérimentaux obtenus, bien que non mutuellement exclusifs, semblent diverger largement et qu'aucune théorie ne les concilie. Ces résultats invitent à penser que le niveau hémisphérique n'est pas le niveau approprié pour poser une hypothèse de polarité et qu'il faut lui préférer le niveau des systèmes. En effet, adopter ce dernier niveau éviterait les erreurs communes concernant l'asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels comme celle qui inaugure l'article de Windmann, Daum, et Güntürkün (2002) : « ***The right hemisphere shows a preference for processing affective cues relative to the left hemisphere. This is a well-established finding, at least with respect to negative emotional valence.*** »

Malgré l'hétérogénéité des résultats et hypothèses, une ligne générale de réflexion peut se dessiner.

Premièrement, il apparaît que l'opposition entre un système émotionnel d'approche et un système émotionnel d'évitement, que Davidson corrèle à une asymétrie hémisphérique antérieure, rend compte d'une division au niveau de la génération des émotions. Cette proposition est totalement compatible avec l'hypothèse de valence. Davidson (1994) a proposé que puisque l'*output* du système d'approche, ainsi que celui du système

d'évitement, s'exprime largement de façon bilatérale et synchronisée sur les deux moitiés du corps, alors il y a des avantages computationnels à ce que le contrôle de l'*output* de chaque système soit localisé dans un seul hémisphère (voir Kosslyn & Koenig, 1995 ; Rolls, 1999 qui s'accordent également sur ce point). Une interprétation en termes d'effet « boule de neige » (*snowball effect*) suggère que le système d'approche se soit développé de façon privilégiée dans l'hémisphère gauche car les mouvements d'approche nécessitent un contrôle manuel plus fin que les mouvements d'évitement, mettant à profit le fait que le cortex frontal gauche ait une fonction de contrôle moteur fin (comme cela a par exemple été mis en évidence pour le langage articulé, voir Kosslyn & Koenig, 1995). La même interprétation suggère que le système d'évitement se soit développé de façon privilégiée dans l'hémisphère droit car les mouvements d'évitement sont plus rapides et nécessitent une mobilisation du système nerveux sympathique plus importante que les mouvements d'approche, profitant ainsi du fait que l'hémisphère droit entretient une relation privilégiée avec le système nerveux sympathique (p.ex., Wittling, Block, Schweiger, & Genzel, 1998).

De ce fait, l'hypothèse d'une génération, plutôt contrôlée, d'instructions émotionnelles liées à l'approche, gérée préférentiellement par l'hémisphère gauche, et d'une génération, plutôt automatique, d'instructions émotionnelles liées à l'évitement, gérée préférentiellement par l'hémisphère droit, est globalement cohérente avec la théorie de Gainotti établissant un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement contrôlé des émotions et un avantage de l'hémisphère droit dans le traitement automatique de schémas émotionnels. Une telle distinction au niveau de la génération émotionnelle est également globalement cohérente avec l'hypothèse de Ross si l'on considère que les émotions sociales sont plutôt générées de façon contrôlée, alors que les émotions primaires sont plutôt générées de façon automatique. A ce jour, à notre connaissance, aucune recherche en neuroimagerie ou impliquant des patients cérébrolésés n'a apporté de résultats à l'encontre de l'hypothèse de Davidson, c'est-à-dire des résultats qui indiqueraient un avantage antérieur gauche pour le traitement de stimuli négatifs et un avantage antérieur droit pour le traitement de stimuli positifs. En revanche, des études de neuroimagerie ont révélé l'activation d'autres structures (selon nous non spécifiquement impliquées dans la génération d'émotions) de l'hémisphère gauche que le cortex préfrontal lors du traitement de stimuli négatifs. A cet égard, il est intéressant de noter que des connexions inhibitrices du cortex préfrontal vers l'amygdale ont été envisagées sur la base de recherches animales et en neuroimagerie (voir Davidson, Jackson, & Kalin, 2000). Par exemple, Hariri, Bookheimer, et Mazziotta (2000) ont montré, en IRMf, que dénommer des expressions émotionnelles négatives était associé à une diminution d'activation dans l'amygdale corrélant avec une augmentation de la réponse du cortex préfrontal droit. De plus, Maratos, Dolan, Morris, Henson, et Rugg (2001) ont montré que la reconnaissance de mots présentés dans un contexte émotionnel négatif par rapport à un contexte neutre était associée à une augmentation d'activité à la fois dans le cortex préfrontal dorsolatéral droit et dans l'amygdale gauche. Ce dernier résultat est en faveur de l'hypothèse d'un lien privilégié entre ces deux structures situées dans des hémisphères différents et impliquées à *différents niveaux* dans le traitement des stimuli émotionnels.

Introduction aux expériences

La série d'expériences que nous présentons dans les deux chapitres suivants a un double objectif puisqu'elle vise à :

1.
Déterminer si certains sous-systèmes émotionnels sont polarité-dépendants. Ceci revient à déterminer si certaines étapes de traitement dans l'évaluation d'un événement émotionnel dépendent de la polarité, positive ou négative, de cet événement.
2.
Déterminer le niveau de traitement, explicite et/ou implicite, dans lequel s'exprime des sous-systèmes polarité-dépendants.

L'analyse computationnelle du système émotionnel nous a conduits à proposer que les divergences observées dans la littérature concernant l'asymétrie hémisphérique des émotions pourraient refléter le fait que les différentes hypothèses proposées reposent sur l'analyse de sous-systèmes différents, et que ces sous-systèmes différents puissent être différentiellement latéralisés (voir CN 1, Sander & Koenig, sous presse). Par conséquent, un défi ambitieux pour la neuroscience cognitive est de déterminer si l'asymétrie hémisphérique observée en fonction de la polarité d'un stimulus, tel que cela a été supposé pour le cortex préfrontal et l'amygdale, dépend du niveau, explicite ou implicite, auquel ce stimulus est traité. En particulier, les contraintes attentionnelles pourraient moduler les sous-systèmes engagés dans le processus évaluatif (voir Thayer & Lane, 2000).

La logique expérimentale suivie était de mettre à profit plusieurs méthodes de la neuroscience cognitive pour tester une seule hypothèse. Ainsi, l'hypothèse de polarité dans l'évaluation explicite et implicite a été testée de façon transversale en recherchant un faisceau d'arguments convergents. Les expériences menées dans ce but ont été les suivantes :

L'Expérience 1 était une étude comportementale, chez des participants sains, utilisant la méthode de présentation en champ visuel divisé. L'objectif de cette expérience était de mettre en évidence une interaction des facteurs polarité émotionnelle et hémisphère cérébral. Cet objectif est justifié par le fait qu'observer une telle interaction serait un argument en faveur de l'existence de sous-systèmes polarité-dépendants, chacun préférentiellement implémenté dans un hémisphère cérébral. De plus, le fait de proposer aux participants une tâche dans laquelle l'évaluation était explicite et une tâche dans laquelle l'évaluation était incidente nous permettait de tester l'hypothèse selon laquelle l'évaluation émotionnelle se produit de façon automatique.

L'Expérience 2 visait à dépasser le niveau hémisphérique dans l'étude de la polarité-dépendance. Précisément, nous avons conduit une étude en imagerie cérébrale utilisant la technique d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle événementielle

chez des participants sains. Ce paradigme avait pour objectif de caractériser les différentes activations évoquées par l'évaluation des stimuli négatifs et positifs. Suivant la même logique expérimentale que celle développée pour l'Expérience 1, ce paradigme avait également pour objectif de caractériser les différentes activations évoquées par les stimuli émotionnels dans un contexte d'attention portée sur la polarité et dans un contexte d'attention portée sur une propriété non-émotionnelle externe de ces stimuli.

L'expérience 3 était une étude comportementale utilisant l'approche de cas unique. Le patient que nous avons testé présentait une hyperperfusion amygdalienne bilatérale en situation de repos. L'objectif principal de cette étude était de tester l'hypothèse d'une implication de l'amygdale dans l'évaluation implicite.

L'expérience 4 était une étude comportementale utilisant la méthode de la double dissociation neuropsychologique. Cette expérience a porté sur deux patients ayant une lésion cérébrale focale identifiée. L'objectif de cette étude était de démontrer que des mécanismes impliqués dans l'évaluation des stimuli négatifs et positifs peuvent être lésés différemment. En outre, le fait d'utiliser une tâche dans laquelle l'évaluation était explicite et une tâche dans laquelle l'évaluation était incidente nous a permis de rechercher des dissociations entre les mécanismes critiques dans l'évaluation explicite et ceux critiques dans l'évaluation implicite.

L'Expérience 5 était une étude comportementale utilisant la méthode de simple dissociation chez une population de patients schizophrènes. L'objectif était de déterminer si, dans la schizophrénie, certains mécanismes impliqués dans l'évaluation d'événements d'une polarité donnée pouvaient être déficitaires alors que les mécanismes impliqués dans l'évaluation d'événements de l'autre polarité seraient préservés.

Chapitre 5. Expériences chez le sujet sain

Expérience 1 : Expériences en champ visuel divisé.

Dans le but de déterminer si certains mécanismes émotionnels sont dissociés selon la polarité du stimulus traité (voir CC 4), notre première approche a été d'utiliser un paradigme expérimental permettant de révéler l'avantage d'un hémisphère cérébral dans une tâche cognitive particulière : le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Le choix d'utiliser l'asymétrie hémisphérique comme indice de dissociation est motivé par le fait qu'une abondante littérature suggère que les deux hémisphères sont engagés de façon différentielle dans le traitement des stimuli émotionnels et notamment selon leur polarité (p.ex., l'hypothèse de valence et l'hypothèse d'activation antérieure asymétrique). La logique de la démarche était de rechercher une interaction du facteur hémisphère cérébral (gauche vs droit) et du facteur polarité (positive vs négative). Ainsi, le fait que les participants répondent plus justement et plus rapidement lorsqu'un stimulus positif est présenté à l'un des hémisphères alors qu'ils répondent plus justement et plus rapidement lorsqu'un stimulus négatif est présenté à l'autre hémisphère, constituerait un argument de validation de l'hypothèse de polarité. En revanche, en l'absence de différences significatives, il ne serait évidemment pas pour autant valide de conclure à l'existence

d'un système unitaire. En effet, d'une part, d'un point de vue statistique, une absence de significativité n'invalide pas une hypothèse et, d'autre part, les systèmes pourraient être dissociés, mais tous les deux au sein du même hémisphère.

Le fait de proposer aux participants une tâche dans laquelle l'évaluation était explicite et une tâche dans laquelle l'évaluation était incidente a permis en outre de tester l'hypothèse d'un effet des contraintes attentionnelles sur le pattern d'asymétrie hémisphérique observé. En effet, le fait d'observer un pattern d'asymétrie hémisphérique comparable dans les conditions d'évaluation explicite (Expérience 1.1) et implicite (Expérience 1.2) constitue un argument de validation de l'hypothèse d'évaluation automatique. C'est, à notre connaissance, la première étude qui compare les patterns d'asymétrie hémisphérique dans le traitement des mêmes stimuli émotionnels en fonction du contexte attentionnel.

Enfin, trois expériences contrôles ont été conduites dans le but de vérifier que les résultats obtenus à l'Expérience 1.2 dépendaient bien de la valeur émotionnelle des stimuli et non pas de la tâche sur laquelle portait la consigne dans cette expérience.

Expérience 1.1 : Traitement explicite de stimuli émotionnels

Cette expérience visait à tester l'hypothèse d'une asymétrie hémisphérique dans l'évaluation explicite, dans le but de valider l'hypothèse de polarité. La revue de la littérature consacrée aux études ayant utilisé la méthode de présentation en champ visuel divisé chez le sujet sain reflète l'hétérogénéité décrite dans la section consacrée à l'asymétrie hémisphérique (voir chapitre 4).

Ainsi, certains résultats sont en accord avec l'hypothèse de l'hémisphère droit. Notamment, dans un paradigme de présentation en champ visuel divisé de photographies émotionnelles (que le participant devait ignorer) suivies de figures géométriques neutres (cibles), Hartikainen, Ogawa, et Knight (2000) ont montré que les photographies émotionnelles interféraient avec les performances de l'hémisphère droit quelle que soit la polarité de la photographie.

D'autres résultats sont en accord avec l'hypothèse de valence. Par exemple, Jansari, Tranel, et Adolphs (2000) ont montré que la discrimination d'expressions négatives était meilleure lorsque les visages étaient présentés à gauche de visages neutres alors que la discrimination d'expressions positives était meilleure lorsque les visages étaient présentés à droite de visages neutres.

Prodan, Orbelo, Testa, et Ross (2001) ont testé l'hypothèse des émotions primaires vs sociales en utilisant un paradigme de présentation en champ visuel divisé. Ces auteurs ont présumé que l'expression d'une émotion sociale consiste dans la modulation de l'expression d'une émotion primaire et que la partie supérieure du visage est plus liée à l'émotion primaire que ne l'est sa partie inférieure. Utilisant comme stimuli des dessins de visages dont les parties supérieure et inférieure exprimaient des émotions différentes, ces auteurs ont révélé que, dans une condition où aucune instruction n'était donnée aux participants concernant la partie du visage à évaluer, les participants évaluaient plus la partie inférieure, quel que soit le champ visuel de présentation. Lorsque l'instruction était

d'évaluer la partie supérieure, les visages présentés à l'hémisphère droit étaient correctement évalués ; en revanche, les participants continuaient, mais à un moindre niveau, à identifier les émotions de la partie inférieure des visages lorsque ceux-ci étaient présentés à l'hémisphère gauche.

D'autres résultats soutiennent « l'hypothèse de valence revisitée ». Ainsi, Bryson, McLaren, Wadden, et MacLean (1991) ont observé un avantage de l'hémisphère droit pour le traitement de stimuli positifs (des visages exprimant la joie) et un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement de stimuli négatifs (des visages exprimant la tristesse).

Notre prédiction était d'obtenir une interaction des facteurs polarité et hémisphère, ce qui constituerait un argument en faveur de l'hypothèse de polarité.

Méthode

Participants

Les 24 participants étaient tous des hommes droitiers, étudiants à l'Université Lyon 2 et âgés de moins de 28 ans. Les participants dont le coefficient de latéralité était inférieur à 0.7 au test de Oldfield (1971) ont été remplacés. Ainsi, 4 participants ont été remplacés.

Matériel

Les photographies étaient présentées, par l'intermédiaire du logiciel MacLab©, sur un écran Formac, ProNitron 17/500 relié à un ordinateur Macintosh (8600/250) dont la mémoire vive était de 160 mégaoctets. L'écran était réglé sur « Millions de couleurs », sa résolution était de « 832 X 640 » et sa fréquence de balayage de 75HZ. La lumière variait selon la phase de la session expérimentale (voir la section « procédure » ci-dessous). Précisons également que les temps de réponse ont été enregistrés directement par l'ordinateur à partir de deux touches du clavier (« B » et « N »).

Stimuli

Les 96 stimuli utilisés étaient des photographies chargées émotionnellement ; 48 étaient classées positives et 48 étaient classées négatives. Sur la base de photographies provenant principalement d'Internet, de CD-ROM ou de magazines, deux critères ont guidé la sélection de ces stimuli. Le premier critère consistait à ne retenir que les photographies non ambiguës que nous supposions capable d'induire une forte émotion chez le participant. Le second était relatif au contenu spécifique des photos. Dans la mesure où de nombreux résultats vont dans le sens d'une spécialisation hémisphérique droite dans la reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles (voir Borod et al., 1997), il a été décidé de ne pas conserver les photographies sur lesquelles apparaissaient des visages en gros plan. Au terme de cette présélection, 185 photographies ont été retenues. A ce stade, une nouvelle sélection des stimuli a été effectuée à l'aide d'un prétest. Lors de ce prétest, 20 participants, tous étudiants, avaient pour tâche de qualifier la valeur émotionnelle de chacune de ces photographies. Pour ce

faire chaque participant indiquait, à l'aide d'une souris, sur une échelle hédonique continue allant de « très agréable » à « très désagréable » en passant par « neutre », la valeur hédonique de chaque stimulus. Sur la base des notes attribuées par les participants, les 48 photos jugées les plus agréables et les 48 photos jugées les plus désagréables ont été sélectionnées. La sélection s'est faite à partir de notes moyennes attribuées à chaque photographie : les 48 plus extrêmes de chaque polarité ont été retenues après s'être assuré d'une cohérence inter-juges (étendues et écart-types plutôt faibles). Par exemple, les photographies positives contenaient un chaton, un bébé jouant ou encore une plage, mais pas de scène érotique, alors que les photographies négatives incluaient des animaux dangereux, des cadavres et des accidents de voiture. Cet ensemble de stimuli a également été utilisé pour une étude TEP (Royet et al., 2000). Dans notre expérience, chaque photographie faisait 4 cm de haut et 6 cm de long. Comme cela est illustré à la figure 5.1, chaque photographie était encadrée d'une bordure supérieure et d'une bordure inférieure qui étaient soit identiques soit différentes. Ces bordures ont été ajoutées car la tâche proposée aux participants dans l'Expérience 1.2 consistait en un jugement de l'identité des bordures. Chaque bordure avait une hauteur de 0,5 cm. Ainsi, puisque la tête des participants était approximativement à 57 cm de l'écran, le centre de chaque photo était placé à 3,5 cm (ce qui représente 3,5 degrés d'angle visuel) du centre de l'écran matérialisé par un point de fixation. Le point de fixation était une croix de 5 x 5 mm. L'ensemble des 96 photos était donc divisé en quatre sous-ensembles de 24 photos selon la polarité émotionnelle et la configuration des bordures.

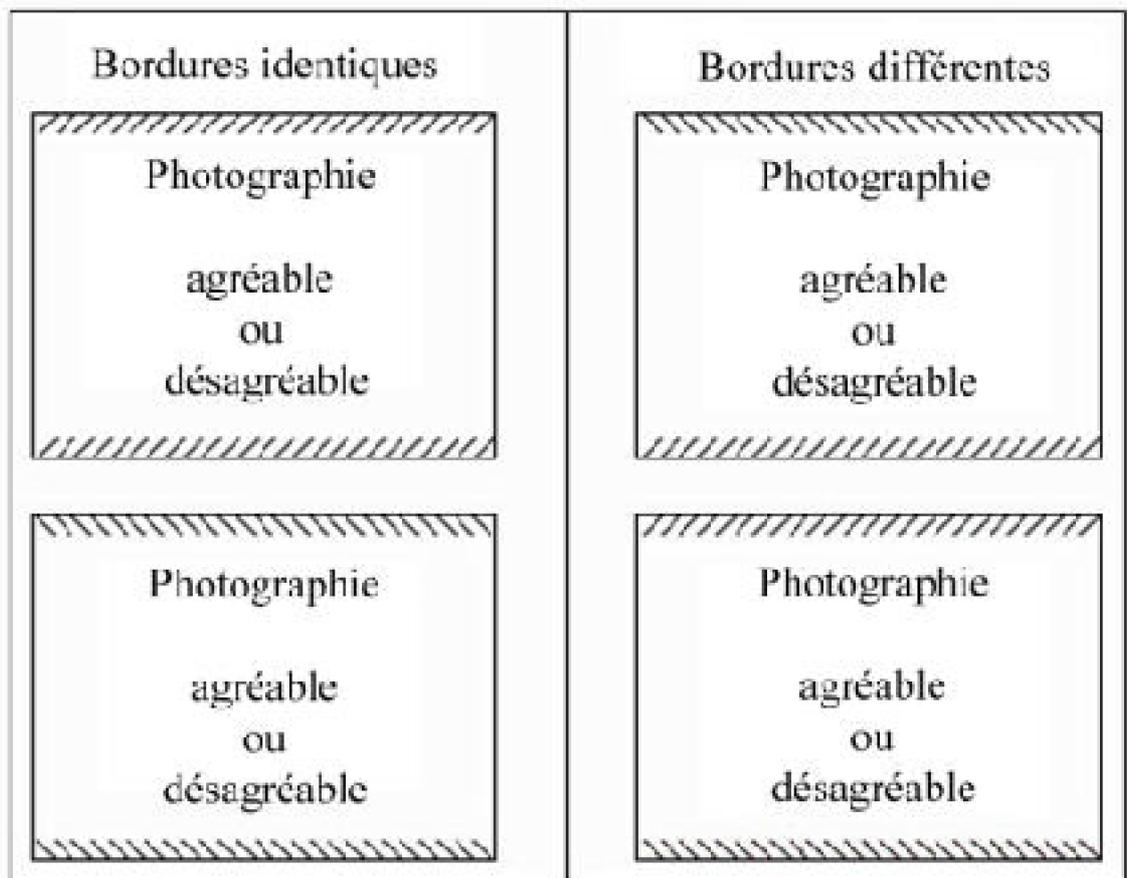


Fig. 5.1 Les stimuli utilisés étaient des photographies émotionnelles agréables ou désagréables. Elles étaient encadrées de bordures supérieure et inférieure pouvant être soit identiques soit différentes.

Procédure

Chaque participant était installé face à l'ordinateur de façon à ce que son visage repose de façon stable sur une mentonnière et que ses yeux soient situés à 57 cm de l'écran.

La consigne était présentée sur l'écran de l'ordinateur et également lue par l'expérimentateur. Celle-ci variait selon la main et le doigt de réponse qu'il était demandé au participant d'utiliser. Dans toutes les conditions, les participants répondaient avec une seule main et sur les touches « B » et « N ». Les facteurs « main de réponse » et « doigt de réponse » ont été contrebalancés.

La session expérimentale était divisée en deux phases, la première consistait à entraîner le participant à répondre de façon appropriée et la seconde constituait la partie expérimentale.

La phase d'entraînement comportait 100 essais, divisés en deux blocs de 50 avec une pause les séparant. Les mots « Agréable » ou « Désagréable » apparaissaient au centre de l'écran dans un ordre aléatoire contrôlé. Le contrôle consistait à s'assurer que le même mot n'était jamais présenté plus de quatre fois consécutives. Chaque essai était composé des étapes suivantes : un signal visuel d'attention (losange noir d'1cm de côté)

au centre de l'écran pour une durée de 100 ms, un écran blanc durant 200 ms, puis soit le mot « Agréable » soit le mot « Désagréable », présenté jusqu'à ce que le participant réponde et finalement un écran blanc de 500 ms. Il était demandé au participant d'appuyer sur la touche correspondant au mot apparaissant au centre de l'écran le plus rapidement et le plus précisément possible. La main et les doigts utilisés étaient ceux utilisés ultérieurement pour la phase expérimentale.

Durant l'ensemble de la phase d'entraînement, la lumière principale était allumée et l'expérimentateur était présent dans la salle.

Pour la phase expérimentale, les participants étaient répartis en deux groupes : les photographies présentées à un groupe dans un champ visuel (groupe A) étaient présentées à l'autre groupe dans l'autre champ visuel (groupe B). De plus, dans chaque groupe, la moitié des participants répondait avec la main droite et l'autre moitié répondait avec la main gauche. Le contrôle du facteur « doigt de réponse » imposait également qu'il y ait autant de participants répondant « Agréable » avec l'index et « Désagréable » avec le majeur que de participants répondant « Agréable » avec le majeur et « Désagréable » avec l'index.

Une fois la phase d'entraînement terminée, la consigne donnée aux participants était de répondre le plus rapidement possible en appuyant sur l'une des deux touches du clavier correspondant aux deux situations possibles : photographie agréable ou désagréable (tâche de jugement hédonique). L'attention des participants n'a jamais été attirée sur la présence de bordures.

L'ensemble des 96 stimuli expérimentaux sélectionnés lors du prétest a été divisé en deux sous-ensembles de 48 stimuli, chaque sous-ensemble reflétant la structure de l'ensemble.

À partir de ces deux sous-ensembles, la phase expérimentale a été constituée en deux blocs comprenant chacun 56 essais et entre lesquels une pause était proposée aux participants. Parmi ces 56 essais, les huit premiers étaient des distracteurs (*fillers*) et tous les suivants étaient des stimuli expérimentaux. Pour chacun des deux blocs, l'ordre de présentation des stimuli pouvait être qualifié d'aléatoire contrôlé dans la mesure où nous sommes assurés que jamais plus de quatre stimuli ayant une même propriété ne soient présentés successivement. Les propriétés évoquées ici sont la polarité émotionnelle, la configuration des bordures et le champ visuel.

Chaque essai débutait par un signal visuel d'attention au centre de l'écran restant 1000 ms. Ce signal était suivi d'un écran blanc durant 200 ms ; ensuite un point de fixation apparaissait au centre de l'écran pendant 500 ms, puis le stimulus était présenté pendant 150 ms. Ce dernier était suivi d'un écran blanc jusqu'à ce que le participant réponde et finalement l'essai se clôturait par un écran blanc de 1000 ms.

Le signal d'attention était un losange noir d'1 cm de côté, le point de fixation était le symbole « + ». Rappelons que le stimulus était composé, bien entendu, de la photo accompagnée de ses bordures dans un des deux champs visuels mais également du point de fixation au centre de l'écran. Le stimulus était présenté 150 ms afin de minimiser la probabilité que le participant ne produise une saccade oculaire en direction de la photographie.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été réalisées sur les temps de réponse et sur le nombre de bonnes réponses. Avant de calculer les temps de réponse moyens, 12,3% des essais ont été éliminés car les réponses ne correspondaient pas aux réponses attendues sur la base du prétest. Un élagage (« *trimming* ») a également été conduit sur les données : les temps de réponse considérés comme excentriques (« *outliers* »), dépassant 2 fois la moyenne de chaque cellule, ont été remplacés par le temps de réponse moyen de la cellule. Une cellule est définie par le croisement des facteurs polarité, champ visuel et configuration des bordures. Avec ce seuil d'élagage, 4,6% des temps de réponse ont été remplacés.

Notons que pour toutes les analyses qui suivent, aucun des effets non indiqués ne sont significatifs ; en revanche, certains effets non significatifs sont mentionnés pour les besoins de la discussion.

Puisque la tâche consistait en un jugement hédonique, il peut être discutable de déterminer dans l'absolu si une réponse est erronée. Ce qui était considéré ici comme « bonne réponse » était la réponse correspondant à la réponse attendue. La prudence s'impose par conséquent, une erreur dans cette tâche pourrait être, en fait, une divergence émotionnelle : le participant pouvait évaluer qu'une photo jugée positive (respectivement négative) lors du prétest était, selon lui, négative (respectivement positive).

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance incluant les facteurs « polarité émotionnelle » (positive vs négative), « champ visuel » (gauche vs droit), « groupe » (A vs B), « main » (gauche vs droite) et « doigt répondant 'agréable' » (index vs majeur) a été conduite sur les « temps de réponse ».

L'analyse a révélé que l'interaction des facteurs polarité émotionnelle et champ visuel était significative, $F(1, 22) = 4.9, p < .04$. Comme le montre la figure 5.2, les stimuli négatifs étaient jugés relativement plus rapidement lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère gauche (455 ms) que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère droit (479 ms). En revanche, les stimuli positifs étaient jugés relativement plus rapidement lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère droit (383 ms) que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère gauche (391 ms). Des analyses de contraste sur les différences hémisphériques pour chaque type de polarité ont confirmé que les participants traitent plus rapidement les stimuli négatifs présentés à l'hémisphère gauche, $F(1, 22) = 5.5, p < .03$. En revanche, ces analyses n'ont pas mis en évidence d'asymétrie hémisphérique significative pour le traitement des stimuli positifs, $F < 1$. De plus, l'analyse a révélé que les réponses étaient plus rapides pour les stimuli positifs (387 ms) que pour les stimuli négatifs (467 ms), $F(1, 22) = 21.7, p < .0002$. Enfin, l'analyse a révélé que les réponses étaient plus rapides pour le groupe A (388 ms) que pour le groupe B (466 ms), $F(1, 22) = 5.7, p < .03$.

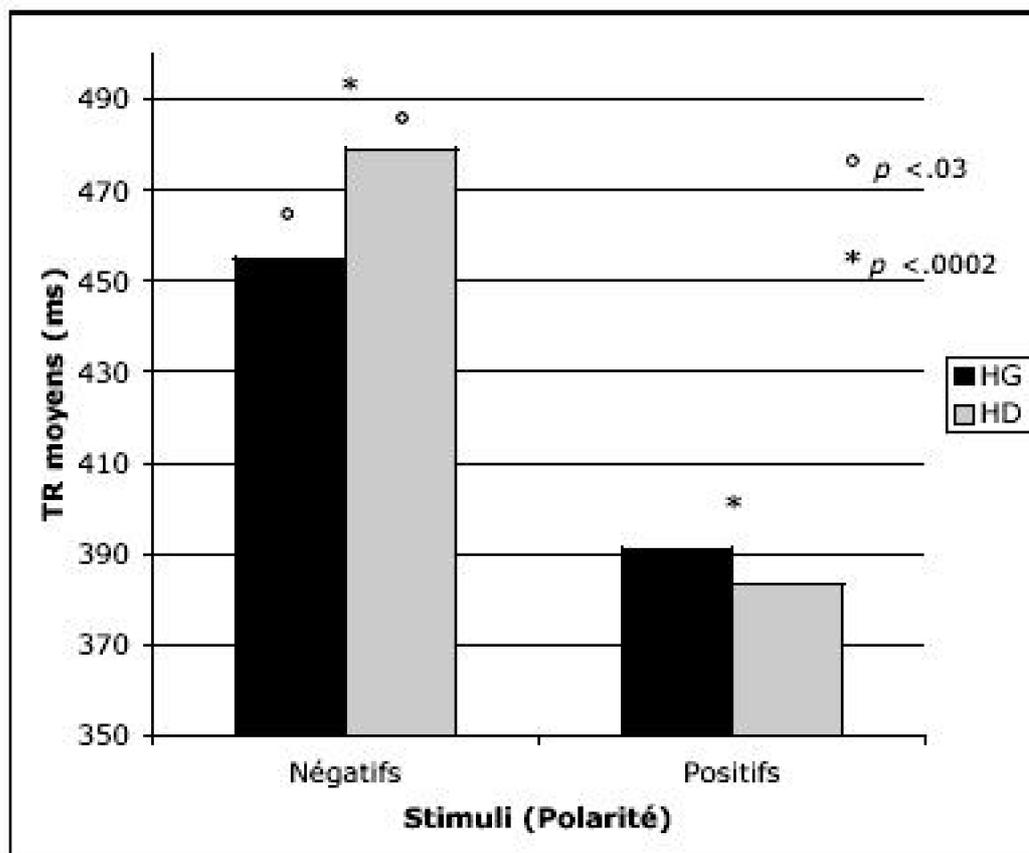


Fig. 5.2 Temps de réponse au jugement hédonique en fonction des facteurs polarité émotionnelle (Négative vs Positive) et hémisphère cérébral (Hémisphère gauche vs Hémisphère droit).

Analyse du nombre de bonnes réponses

Une analyse de variance incluant les mêmes facteurs que pour l'analyse des temps de réponse a été conduite sur le nombre de bonnes réponses.

Cette analyse a indiqué que l'interaction des facteurs polarité émotionnelle et champ visuel n'était pas significative, $F < 1$. Le seul effet significatif était l'effet simple de la polarité. En effet, l'analyse a révélé que les participants ont commis plus d'erreurs pour les photos négatives (15%) que pour les photos positives (9,6%), $F(1, 23) = 30.9, p < .0002$.

Discussion

Notre prédiction concernant l'observation d'une interaction des facteurs polarité et hémisphère a été vérifiée pour l'analyse des temps de réponse. L'interaction de ces facteurs constitue un argument en faveur de l'hypothèse de polarité : au cours de l'évaluation de la polarité d'un stimulus, des sous-systèmes seraient différenciellement impliqués dans le traitement des stimuli négatifs et positifs.

Deux interprétations opposées peuvent être avancées concernant l'avantage

hémisphérique dans l'évaluation des stimuli négatifs.

1) Interprétation en termes d'un avantage hémisphérique gauche pour le traitement des stimuli négatifs

Si l'on considère que la rapidité de traitement est un indice de spécialisation, ce qui est une interprétation classique en psychologie cognitive, alors le fait que les temps de réponse soient plus courts lorsque les stimuli négatifs sont présentés à l'hémisphère gauche que lorsqu'ils sont présentés à l'hémisphère droit peut être interprété comme le reflet d'un avantage de l'hémisphère gauche pour l'évaluation des stimuli négatifs. Un tel résultat est cohérent avec « l'hypothèse de valence revisitée » et réplique des résultats obtenus dans d'autres études utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Ainsi, Van Strien et Luipen (1999) ont observé un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement de mots négatifs ; Bryson et al. (1991) ont rapporté une supériorité de l'hémisphère gauche pour le traitement de visages exprimant la tristesse. Selon cette interprétation, et à notre connaissance, il s'agit de la première étude ayant utilisé des photographies, autres que des visages, suggérant un avantage hémisphérique gauche pour le traitement de stimuli négatifs en utilisant un paradigme de présentation en champ visuel divisé.

2) Interprétation en termes d'un avantage hémisphérique droit pour le traitement des stimuli négatifs

L'interprétation alternative considère que si une structure est impliquée dans un effet caractéristique d'une classe de stimuli, alors cette structure est impliquée dans le traitement des stimuli appartenant à cette classe.

L'effet du facteur polarité émotionnelle était significatif à la fois pour les bonnes réponses et pour les temps de réponse : les participants répondaient plus lentement et faisaient plus d'erreurs pour les stimuli négatifs que pour les stimuli positifs. Le fait que ce biais de négativité (voir Cacioppo & Gardner, 1999) aille dans le même sens pour les deux analyses indique l'absence d'un compromis entre la rapidité de la réponse et sa précision. Nous suggérons deux interprétations possibles de ce biais de négativité. La première interprétation propose que ce ralentissement pour les stimuli négatifs provienne du fait que les stimuli négatifs pourraient produire chez l'homme une réponse proche de la réponse de « freezing » de l'animal. Une telle réaction produirait un effet d'interférence à l'étape de la réponse motrice. La deuxième interprétation propose que le biais de négativité ne reflète pas une différence à l'étape de la réponse motrice mais plutôt à l'étape de l'évaluation. Ito, Larsen, Smith, et Cacioppo (1998) ont conduit une étude utilisant la méthode des potentiels évoqués pour déterminer l'étape qui tend à être la plus influencée par des informations négatives par rapport à des informations positives de même intensité (biais de négativité). Précisément, cette étude visait à déterminer si ce biais de négativité se produit à l'étape évaluative de catégorisation, en sachant que les potentiels évoqués sont plus sensibles à cette étape qu'à celle de la réponse. Ces auteurs ont observé une augmentation de l'amplitude des potentiels positifs tardifs pour les stimuli négatifs par rapport aux stimuli positifs. Selon ces auteurs, ce résultat, répliqué par Ito et

Cacioppo (2000), est en faveur de l'hypothèse selon laquelle le biais de négativité se produit à l'étape initiale de catégorisation en classes selon la polarité. Par conséquent, le ralentissement qui a été observé dans notre étude pourrait refléter une asymétrie fonctionnelle dans le traitement des stimuli négatifs et positifs (Dahl, 2001 ; Pratto & John, 1991). Cette asymétrie trouve une interprétation dans le cadre de l'hypothèse de mobilisation-minimisation proposée par Taylor (1991). Selon cet auteur, un événement négatif évoque des réponses physiologiques et cognitives rapides. Cette mobilisation de l'organisme est suivie par un ensemble de réponses physiologiques, cognitives et comportementales qui minimisent l'impact de cet événement. Selon cet auteur, ce pattern de mobilisation-minimisation serait plus important pour les événements négatifs que pour les événements positifs ; cette différence expliquerait l'asymétrie comportementale aux événements négatifs et positifs. Le biais de négativité serait médiatisé notamment par le système attentionnel (p.ex., Carretié, Mercado, Tapia, & Hinojosa, 2001 ; Öhman, Flykt, & Esteves, 2001). Le ralentissement dans les temps de réponse aux stimuli négatifs par rapport aux positifs (p.ex., Dahl, 2001 ; Padovan, Versace, Thomas-Anterion, & Laurent, 2002 ; Pratto & John, 1991 ; voir aussi Cacioppo & Berntson, 1994) pourrait s'expliquer notamment par la tendance des stimuli négatifs à retenir l'attention qui serait engagée plus longtemps que les stimuli positifs (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001).

L'existence de cet effet caractéristique des stimuli négatifs conduit à poser la question de la spécialisation hémisphérique d'une façon alternative : l'hémisphère spécialisé dans le traitement des stimuli négatifs est-il celui qui les évalue le plus vite ou celui qui vérifie le plus le biais de négativité ?

L'interaction des facteurs polarité et hémisphère observée signifie que le ralentissement des temps de réponse aux stimuli négatifs (par rapport aux stimuli positifs) était supérieur lorsque les stimuli étaient présentés à l'hémisphère droit que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère gauche. Ce résultat indique par conséquent que le biais de négativité était significativement plus marqué pour les stimuli présentés à l'hémisphère droit que pour les stimuli présentés à l'hémisphère gauche. Ainsi, si l'on accepte que l'existence d'un biais de négativité est le reflet de l'évaluation des stimuli négatifs, alors nos résultats se doivent d'être interprétés comme suggérant un avantage hémisphérique droit pour l'évaluation des stimuli négatifs.

Conclusion

Quelle que soit l'interprétation de spécialisation hémisphérique pour l'évaluation des stimuli négatifs, l'interaction cruciale des facteurs polarité et hémisphère est un argument en faveur de l'existence de sous-systèmes différenciellement impliqués dans l'évaluation des stimuli négatifs ou positifs.

La première interprétation se basait sur le fait que les stimuli négatifs étaient évalués plus rapidement lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère gauche que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère droit pour suggérer un avantage hémisphérique gauche dans l'évaluation des stimuli négatifs. Une telle interprétation est cohérente avec « l'hypothèse de valence revisitée ».

L'interprétation alternative se basait sur le fait que le biais de négativité était

supérieur pour les stimuli présentés à l'hémisphère droit que pour ceux présentés à l'hémisphère gauche pour suggérer un avantage hémisphérique droit dans l'évaluation des stimuli négatifs. Une telle interprétation est cohérente avec l'hypothèse de l'hémisphère droit, l'hypothèse de valence et l'hypothèse d'activation antérieure asymétrique. L'interaction des facteurs polarité et hémisphère allait dans le sens d'une supériorité relative (mais non significative) de l'hémisphère droit pour le traitement des photographies positives. Cette observation est cohérente avec les résultats de Duda et Brown (1984) ainsi que ceux de Bryson et al. (1991) qui ont observé un avantage de l'hémisphère droit pour le traitement de visages exprimant la joie. En outre, dans une expérience utilisant le paradigme d'écoute dichotique, Hatta et Ayetani (1985) ont observé un avantage hémisphérique droit pour les sons de tonalité positive. Ce résultat est plutôt compatible avec l'hypothèse de l'hémisphère droit.

Notons que le nombre de bonnes réponses pourrait constituer une variable dépendante permettant de départager les deux interprétations car l'hémisphère spécialisé est celui pour lequel le moins d'erreurs sont commises lorsque les informations lui sont présentées. Cependant, dans cette expérience, l'effet du facteur hémisphère sur le nombre de bonnes réponses n'était pas significatif, $F < 1$. Une autre variable dépendante qui permettrait de départager ces interprétations est la réponse hémodynamique si l'on considère qu'une région cérébrale spécialisée pour le traitement de la classe des stimuli d'une polarité donnée doit être plus activée lorsqu'elle traite des exemplaires de cette classe que lorsqu'elle traite des exemplaires de la classe des stimuli de l'autre polarité. Nous avons utilisé cette variable dépendante dans le cadre d'une étude en IRMf (Expérience 2).

Concluons cette discussion en remarquant que le nombre de bonnes réponses était élevé : la réponse donnée par les participants correspondait à celle attendue dans 88% des essais. Nous interprétons ce résultat comme un indice de validation des stimuli obtenus suite au prétest. En effet, un taux élevé de conformité entre les réponses obtenues et celles attendues signifie que les stimuli sont aisément catégorisés comme agréables ou désagréables et qu'ils ne sont, par conséquent, pas ambigus.

L'expérience qui suit a été conduite pour déterminer si l'évaluation des stimuli émotionnels peut s'opérer de façon implicite. Notre hypothèse est que, y compris lorsque le traitement de la dimension émotionnelle n'est pas intentionnel, l'interaction des facteurs polarité émotionnelle et champ visuel reste effective. Nous faisons aussi l'hypothèse que l'avantage de l'hémisphère gauche sur les temps de réponse aux stimuli négatifs sera répliqué.

Expérience 1.2 : Traitement implicite de stimuli émotionnels

Méthode

Participants

Comme pour l'expérience précédente, les 24 participants étaient tous des hommes

droitiers, étudiants à l'Université Lyon 2 et âgés de moins de 28 ans. Aucun participant n'avait pris part à l'Expérience 1.1. Les participants dont plus de 25% des réponses étaient erronées n'ont pas été retenus lors de l'analyse des résultats. Ainsi, 8 participants ont été remplacés. De même, comme pour l'expérience « explicite », tous les participants dont le coefficient de latéralité était inférieur à 0,7 ont été remplacés. Ainsi, 10 participants de plus ont été remplacés.

Matériel

Le dispositif expérimental était celui utilisé dans l'Expérience 1.1.

Stimuli

Les stimuli étaient ceux utilisés dans l'Expérience 1.1.

Procédure

La procédure était identique à celle de l'expérience 1.1, à une exception près : la tâche du participant, qualifiée d'implicite, ne nécessitait pas le traitement de la dimension émotionnelle des photos. Il lui était demandé d'appuyer le plus rapidement et en faisant le moins d'erreurs possibles sur une des deux touches du clavier correspondant aux deux situations possibles : « Même » si les bordures étaient identiques ou « Différent » si les bordures différaient. Ainsi, tous les facteurs intra-individuels et inter-individuels de cette expérience étaient ceux utilisés pour l'expérience précédente, sauf un. En effet, le facteur « doigt répondant 'Agréable' » a été remplacé par le facteur « doigt répondant 'Même' ».

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été réalisées sur les temps de réponse et sur le nombre de bonnes réponses. Avant de calculer les temps de réponse moyens, les essais dans lesquels les réponses étaient erronées ont été éliminés. Un élagage (« *Trimming* ») a également été conduit sur les données: les temps de réponse considérés excentriques (« *outliers* »), dépassant 1.5 fois la moyenne de chaque cellule ont été remplacés par le temps de réponse moyen de la cellule. Une cellule est définie par le croisement des facteurs polarité, champ visuel et configuration des bordures. Avec ce seuil d'élagage, 10.6% des temps de réponse ont été remplacés. Notons, comme précédemment, que pour les analyses qui suivent, aucun des effets non mentionnés n'est significatif mais que certains effets non significatifs sont indiqués pour les besoins de la discussion.

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance incluant les facteurs « polarité émotionnelle » (positive vs négative), « champ visuel » (gauche vs droit), « configuration des bordures » (différentes vs identiques), « groupe » (A vs B), « main » (gauche vs droite) et « doigt répondant 'même' » (index vs majeur) a été conduite sur les temps de réponse.

Cette analyse a indiqué que l'interaction des facteurs polarité émotionnelle et champ visuel n'était pas significative, $F < 1$. Compte tenu de nos hypothèses spécifiques, nous

avons tout de même effectué des analyses de contraste sur les différences hémisphériques pour chaque type de polarité. Comme le montre la figure 5.3, les participants répondaient plus rapidement lorsque les stimuli négatifs étaient présentés à l'hémisphère gauche (574 ms) que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère droit (604 ms), $F(1, 23) = 6, p < .03$. De plus, l'analyse a révélé que les participants répondaient plus rapidement si les stimuli étaient présentés à l'hémisphère gauche (574 ms) que s'ils étaient présentés à l'hémisphère droit (598 ms), $F(1, 23) = 6, p < .03$.

Enfin, l'interaction des facteurs polarité et configuration des bordures était significative, $F(1, 23) = 6.7, p < .02$. Les participants répondaient plus rapidement que les bordures différaient lorsque les photos étaient négatives (589 ms) que lorsque les photos étaient positives (609 ms). En revanche, les participants répondaient plus rapidement que les bordures étaient identiques lorsque les photos étaient positives (554 ms) que lorsque les photos étaient négatives (590 ms).

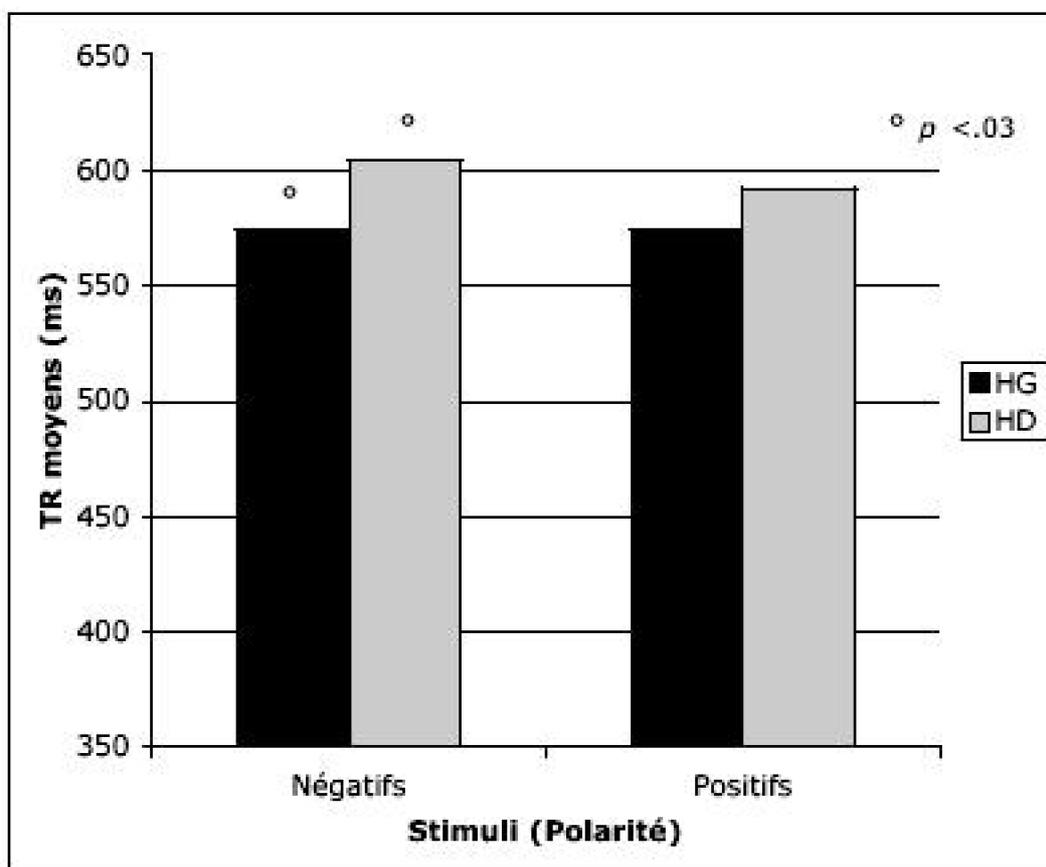


Fig. 5.3 Temps de réponse à la tâche de jugement de bordures en fonction des facteurs polarité émotionnelle (Négative vs Positive) et hémisphère cérébral (Hémisphère gauche vs Hémisphère droit).

Analyse du nombre de bonnes réponses

Une analyse de variance incluant les mêmes facteurs que pour l'analyse des temps de réponse a été conduite sur les bonnes réponses.

Cette analyse a indiqué que l'interaction des facteurs polarité émotionnelle et champ visuel n'était pas significative, $F < 1$. L'effet du facteur hémisphère n'était pas significatif non plus, $F < 1$. L'analyse a révélé que l'effet simple du facteur polarité était significatif. Les participants ont commis moins d'erreurs, pour décider si les bordures étaient identiques ou différentes, lorsque les photographies étaient positives (12,25% d'erreurs) que lorsqu'elles étaient négatives (15,6% d'erreurs), $F(1, 23) = 4.7, p < .05$. Enfin, l'analyse a révélé que l'effet simple du facteur configuration des bordures était significatif. Les participants ont commis moins d'erreurs lorsque les bordures étaient différentes (10%) que lorsqu'elles étaient identiques (17,5%), $F(1, 23) = 16.9, p < .0005$.

Discussion

Le résultat principal de cette expérience était la réplication de l'avantage hémisphérique gauche sur les temps de réponse aux stimuli négatifs observé dans l'expérience précédente. Le fait que cet avantage soit apparu alors qu'il n'était pas demandé aux participants de juger intentionnellement la polarité émotionnelle des photos conforte l'hypothèse selon laquelle le mécanisme évaluatif est automatique (voir CC 5).

De plus, l'effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses a été répliqué ; suggérant ainsi que les participants ont traité le contenu émotionnel des photos. L'observation d'une interaction des facteurs polarité et configuration des bordures renforce cette interprétation. En revanche, l'effet du facteur polarité sur les temps de réponse n'a pas été répliqué ; ainsi le biais de négativité attendu n'a pas été observé.

Le fait de ne pas avoir observé d'interaction des facteurs hémisphère et polarité ne permet pas de valider l'hypothèse de polarité dans l'évaluation implicite.

Deux interprétations opposées peuvent être avancées concernant l'avantage hémisphérique dans l'évaluation des stimuli négatifs.

1) Interprétation en termes d'un avantage hémisphérique gauche

La première interprétation est fondée sur le même postulat que la première interprétation des résultats de l'Expérience 1.1 : la rapidité de traitement est un indice de spécialisation.

Ainsi, l'avantage hémisphérique gauche sur les temps de réponse aux stimuli négatifs peut être interprété comme reflétant la supériorité de cet hémisphère dans l'évaluation des stimuli négatifs. Un tel résultat impliquant l'hémisphère gauche dans le traitement émotionnel automatique est cohérent avec les résultats obtenus par Bernat, Bunce, et Shevrin (2001). En étudiant les potentiels évoqués par des stimuli positifs et négatifs présentés de façon subliminale, ces auteurs ont pu montrer que les mots négatifs évoquaient une positivité plus large que les mots positifs pour les composants P1, N1, P2, P3 et LP, et ce de façon significativement plus marquée dans l'hémisphère gauche que dans l'hémisphère droit. Par conséquent, un traitement différentiel des stimuli négatifs et positifs peut se produire dès 100 ms de traitement avec une présentation subliminale et principalement dans l'hémisphère gauche.

L'avantage hémisphérique gauche dans l'évaluation automatique des stimuli négatifs est compatible avec « l'hypothèse de valence revisitée ».

2) Interprétation en termes d'un avantage hémisphérique droit

La seconde interprétation est fondée sur le fait que lorsque le participant effectuait la tâche de jugement des bordures, il effectuait potentiellement un double traitement à la présentation de chaque stimulus : (1) le traitement explicite des bordures et (2) le traitement incident de la valeur émotionnelle. Dans ce cas, il est postulé qu'un ralentissement dans le temps d'exécution d'une telle tâche dans une modalité donnée par rapport au temps d'exécution de cette même tâche dans une autre modalité indique que le traitement incident s'est produit de façon plus marquée dans la première modalité.

Ainsi, le ralentissement dans le temps d'exécution de la tâche de jugement des bordures dans la modalité de présentation des stimuli négatifs à l'hémisphère droit par rapport à la modalité de présentation de ces stimuli à l'hémisphère gauche suggère un avantage hémisphérique droit dans l'évaluation implicite des stimuli négatifs.

De plus, le résultat obtenu est conforme à ce qui est prédit si l'on considère la seconde interprétation des résultats de l'Expérience 1.1. En effet, si l'hémisphère droit est supérieur dans l'évaluation des stimuli négatifs, alors il est attendu que la présence de ces stimuli ralentisse plus l'exécution de la tâche lorsqu'ils sont présentés à l'hémisphère droit que lorsqu'ils sont présentés à l'hémisphère gauche.

L'avantage hémisphérique droit dans l'évaluation automatique des stimuli négatifs est compatible avec l'hypothèse de l'hémisphère droit, l'hypothèse de valence, l'hypothèse d'activation antérieure asymétrique et l'hypothèse des niveaux de traitement.

Notons tout de même que le fait de ne pas avoir observé de biais de négativité relativise cette interprétation.

Conclusion

Quelle que soit l'interprétation de spécialisation hémisphérique, le fait que l'avantage hémisphérique gauche sur les temps de réponse aux stimuli négatifs observé dans l'Expérience 1.1 soit également apparu alors que la tâche était incidente conforte l'hypothèse selon laquelle le mécanisme évaluatif est automatique. De même, l'observation d'un effet du facteur polarité ainsi que d'une interaction des facteurs polarité et configuration des bordures confortent cette hypothèse. Cependant, il est nécessaire d'examiner les interprétations alternatives. Même si la supériorité de l'hémisphère gauche pour les stimuli positifs n'était pas significative, il est possible que l'avantage observé reflète un avantage général de l'hémisphère gauche puisque l'effet simple du facteur hémisphère était significatif. Sur la base de cette suggestion, au moins trois hypothèses pourraient expliquer nos résultats.

Tout d'abord, les résultats pourraient refléter une supériorité de l'hémisphère gauche dans l'exécution de la tâche elle-même, c'est-à-dire dans la capacité de décider si les bordures sont identiques ou différentes.

Ensuite, les résultats pourraient refléter un avantage hémisphérique gauche dans le traitement incident de la composante sémantique des photographies. En effet, les photographies utilisées étaient, certes, émotionnelles mais véhiculaient également un

contenu sémantique dans la mesure où elles représentaient des événements identifiables par les participants. Il est donc possible que l'avantage hémisphérique gauche observé soit le produit d'une spécialisation de cet hémisphère dans certains traitements sémantiques incidents (p.ex., l'identification d'un événement), indépendamment de la valeur émotionnelle des photographies.

Enfin, selon un raisonnement comparable, les résultats pourraient refléter un avantage hémisphérique gauche dans le traitement incident de la composante purement perceptive des photographies. En effet, celles-ci étaient visuellement complexes et il est possible que l'avantage hémisphérique gauche observé soit le produit d'une spécialisation de cet hémisphère dans une étape précoce de traitement visuel incident (p.ex., traitement de la couleur).

Dans le but de tester ces hypothèses alternatives, les trois expériences contrôles suivantes ont été conduites, chacune relative à une hypothèses alternative particulière.

Expérience 1.3 : Contrôle d'un effet potentiel de la tâche

Dans le but de tester l'hypothèse selon laquelle l'avantage hémisphérique gauche sur les temps de réponse obtenu dans l'expérience 1.2 proviendrait d'une supériorité de cet hémisphère pour la tâche de jugement des bordures, nous avons conduit cette expérience dans laquelle la tâche était conservée mais aucune photographie n'était présentée entre les bordures.

Méthode

Participants

Les 24 participants étaient des hommes droitiers, tous étudiants à l'Université Lyon 2 et âgés de moins de 28 ans. Aucun participant n'avait pris part aux expériences précédentes. Les mêmes critères d'inclusion que ceux utilisés dans l'Expérience 1.2 ont été appliqués. Ainsi, 2 participants ont été remplacés. L'un à cause de son coefficient de latéralité trop bas et l'autre à cause de son nombre d'erreurs trop élevé.

Matériel

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes.

Stimuli

Puisque les photographies ont été supprimées, les stimuli n'étaient composés que des bordures. Ainsi, la charge perceptive présente entre les bordures était nulle (rectangle blanc) et aucun traitement n'était supposé interférer avec celui des bordures.

Procédure

La procédure était identique à celle utilisée dans l'Expérience 1.2.

Résultats

Une analyse de variance du même type que celle effectuée pour l'Expérience 1.2 a été conduite sur les temps de réponse. L'élagage a conduit à remplacer 13% des temps de réponse.

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance incluant les facteurs « configuration des bordures » (même vs différent), « champ visuel » (gauche vs droit), « groupe » (A vs B), « main » (gauche vs droite) et « doigt répondant 'agréable' » (index vs majeur) a été conduite sur les « temps de réponse ».

Cette analyse a révélé que l'effet simple du facteur configuration des bordures était significatif. Les participants ont répondu plus rapidement lorsque les bordures étaient identiques (566 ms) que lorsqu'elles étaient différentes (611 ms), $F(1, 23) = 13, p < .002$. De plus, l'analyse a révélé que l'effet simple du facteur champ visuel était marginalement significatif. En effet, les participants répondaient plus rapidement lorsque les stimuli étaient présentés à l'hémisphère droit (581 ms) que lorsqu'ils étaient présentés à l'hémisphère gauche (595 ms), $F(1, 23) = 3.7, p < .07$.

Analyse du nombre de bonnes réponses

Une analyse de variance identique à celle effectuée sur les temps de réponse a été effectuée et n'a révélé aucun effet ou interaction significatif.

Discussion

L'effet du facteur hémisphère était marginalement significatif et allait dans le sens opposé de l'effet de ce même facteur obtenu dans l'Expérience 1.2. Il semblerait que, lorsque les stimuli ne contiennent aucune autre information que les bordures, un avantage de l'hémisphère droit tende à apparaître. Le fait que le traitement des bordures seules implique plutôt l'hémisphère droit est un argument soutenant que l'avantage de l'hémisphère gauche obtenu lors de l'Expérience 1.2 reflète bien le traitement irrépressible de la dimension émotionnelle des photos et non le traitement des bordures. Notons qu'un tel avantage est attendu si l'on considère la supériorité de l'hémisphère droit pour de nombreuses tâches de nature spatiale (voir Gazzaniga, 2000).

Expérience 1.4 : Contrôle d'un effet potentiel du contenu sémantique

Cette expérience a été conduite dans le but de s'assurer que le résultat obtenu dans l'Expérience 1.2 reflétait l'évaluation implicite de la valeur émotionnelle des photographies et non pas seulement un traitement sémantique incident sur ces stimuli. Ainsi, la tâche de jugement de bordures a été conservée dans la présente expérience mais les photographies sémantiques présentées entre les bordures étaient émotionnellement neutres.

Méthode

Participants

Les 24 participants étaient des hommes droitiers, tous étudiants à l'Université Lyon 2 et âgés de moins de 28 ans. Aucun participant n'avait pris part aux expériences précédentes. Les mêmes critères d'inclusion que ceux utilisés dans l'Expérience 1.2 ont été appliqués. Ainsi, 6 participants ont été remplacés pour avoir commis trop d'erreurs et 3 participants ont été remplacés parce que leur coefficient de latéralité était inférieur à 0.7.

Matériel

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes.

Stimuli

Les stimuli étaient construits de la même façon que ceux utilisés pour l'expérience 1.2. Dans cette expérience, les photographies placées entre les bordures étaient des photographies neutres prétestées et des photographies neutres provenant de l'International Affective Picture System (Lang & Greenwald, 1993).

Procédure

La procédure était identique à celle utilisée pour l'Expérience 1.2.

Résultats

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance identique à celle effectuée dans l'Expérience 1.3 a été effectuée sur les temps de réponse. Avec cet élagage, 14,5% des réponses ont été remplacées.

Cette analyse n'a révélé aucun effet significatif et, en particulier, l'effet du facteur hémisphère n'était pas significatif $F(1, 23) = 1.6, p > .2$.

Analyse du nombre de bonnes réponses

Une analyse de variance identique à celle effectuée dans l'Expérience 1.3 a été effectuée sur le nombre de bonnes réponses. Cette analyse a révélé que le facteur configuration des bordures était significatif ; les participants ont commis moins d'erreurs lorsque les bordures étaient différentes (7%) que lorsqu'elles étaient identiques (16%) $F(1, 23) = 15.9, p < .0006$.

Discussion

Aucun effet n'a été observé sur les temps de réponse. En particulier, le fait de ne pas avoir observé d'avantage hémisphérique gauche suggère que cet avantage obtenu dans

l'Expérience 1.2 reflétait le mécanisme d'évaluation automatique de la composante émotionnelle des stimuli. L'effet obtenu sur le nombre de bonnes réponses réplique l'effet observé dans l'Expérience 1.2 et suggère que le fait que les participants commettent plus d'erreurs lorsque les bordures sont différentes que lorsqu'elles sont identiques ne dépend pas du contenu des photographies.

Expérience 1.5 : Contrôle d'un effet potentiel du contenu perceptif

Cette expérience a été conduite dans le but de s'assurer que le résultat obtenu dans l'Expérience 1.2 reflétait l'évaluation implicite de la valeur émotionnelle des photographies et non pas le traitement purement perceptif de ces stimuli. Ainsi, la tâche de jugement de bordures a été conservée dans la présente expérience. Les photographies présentées entre les bordures étaient perceptivement proches de celles utilisées dans l'Expérience 1.2 mais ne véhiculaient aucune information d'ordre sémantique.

Méthode

Participants

Les 24 participants étaient des hommes droitiers, tous étudiants à l'Université Lyon 2 et âgés de moins de 28 ans. Aucun participant n'avait pris part aux expériences précédentes. Les mêmes critères d'inclusion que ceux utilisés dans l'Expérience 2 ont été appliqués. Ainsi, 5 participants ont été remplacés à cause de leur coefficient de latéralité trop bas et 1 participant a été remplacé à cause de son nombre d'erreurs trop élevé.

Matériel

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes.

Stimuli

Les stimuli étaient exactement ceux utilisés pour les Expériences 1.1 et 1.2 à une exception près : les photos avaient été filtrées. Le filtre permettait d'empêcher toute reconnaissance du contenu des stimuli tout en conservant une charge perceptive proche de l'original. Le filtre, appliqué grâce à une fonction du logiciel Adobe PhotoShop®, était de type « passe-bas » gaussien. Ainsi, seule une gamme de fréquences spatiales basses a été conservée.

Procédure

La procédure était identique à celle utilisée pour l'Expérience 1.2.

Résultats

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance identique à celle effectuée dans l'Expérience 1.3 a été réalisée sur les temps de réponse. Avec cet élagage, 10,5% des réponses ont été remplacées.

Cette analyse n'a révélé aucun effet significatif et, en particulier, l'effet du facteur hémisphère n'était pas significatif $F(1, 23) = 1.7, p > .2$.

Analyse des bonnes réponses

Une analyse de variance identique à celle effectuée dans l'Expérience 1.3 a été réalisée sur le nombre de bonnes réponses. Cette analyse a révélé que le facteur de la configuration des bordures était significatif ; les participants ont commis moins d'erreurs lorsque les bordures étaient différentes (5%) que lorsqu'elles étaient identiques (13%), $F(1, 23) = 17.1, p < .0005$.

Discussion

Aucun effet n'a été observé sur les temps de réponse. En particulier, le fait de ne pas avoir observé d'avantage hémisphérique gauche suggère que cet avantage obtenu dans l'Expérience 1.2 reflétait le mécanisme d'évaluation automatique de la composante émotionnelle des stimuli et non pas un traitement perceptif. L'effet obtenu sur le nombre de bonnes réponses réplique l'effet observé dans les Expériences 1.2 et 1.4 et suggère à nouveau que le fait que les participants commettent plus d'erreurs lorsque les bordures sont différentes que lorsqu'elles sont identiques est indépendant du contenu des photographies.

La figure 5.4 présentée ci-après illustre l'effet du facteur hémisphère sur les temps de réponse selon la nature des stimuli pour la tâche de jugement de bordures (Expériences 1.2, 1.3, 1.4 et 1.5). La figure 5.5 présente un exemple de stimulus pour chaque expérience.

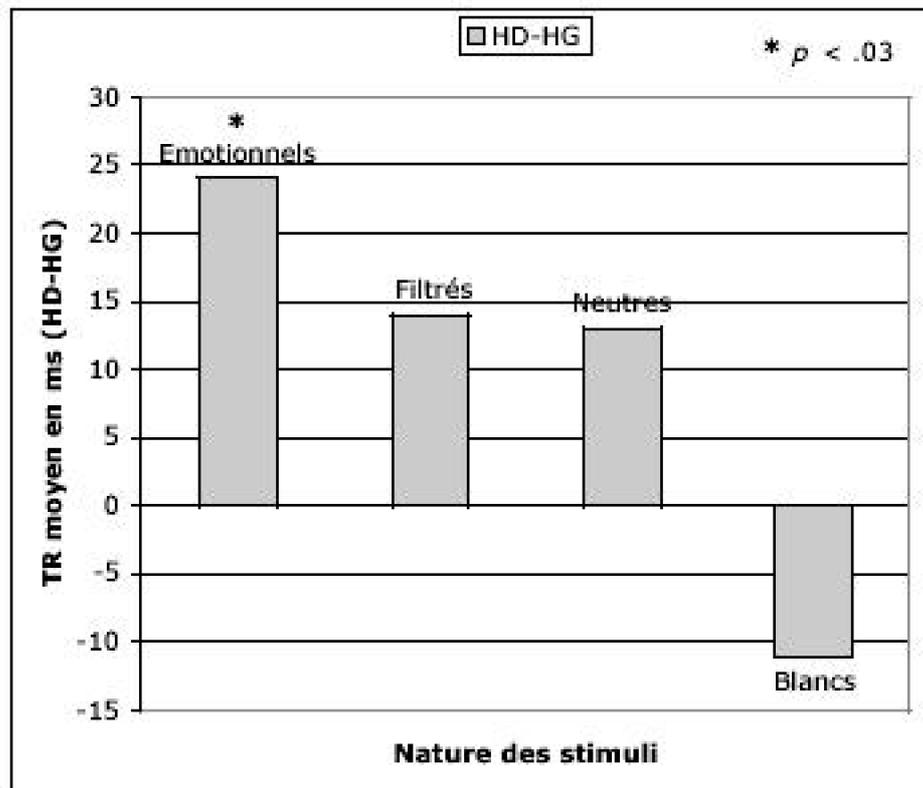


Fig. 5.4 Différence en ms entre le temps de réponse moyen aux stimuli présentés à l'hémisphère droit et le temps de réponse moyen aux stimuli présentés à l'hémisphère gauche selon la nature des stimuli pour la tâche de jugement de bordures (voir Fig. 5.5). Un avantage de l'hémisphère gauche est observé pour les stimuli émotionnels.

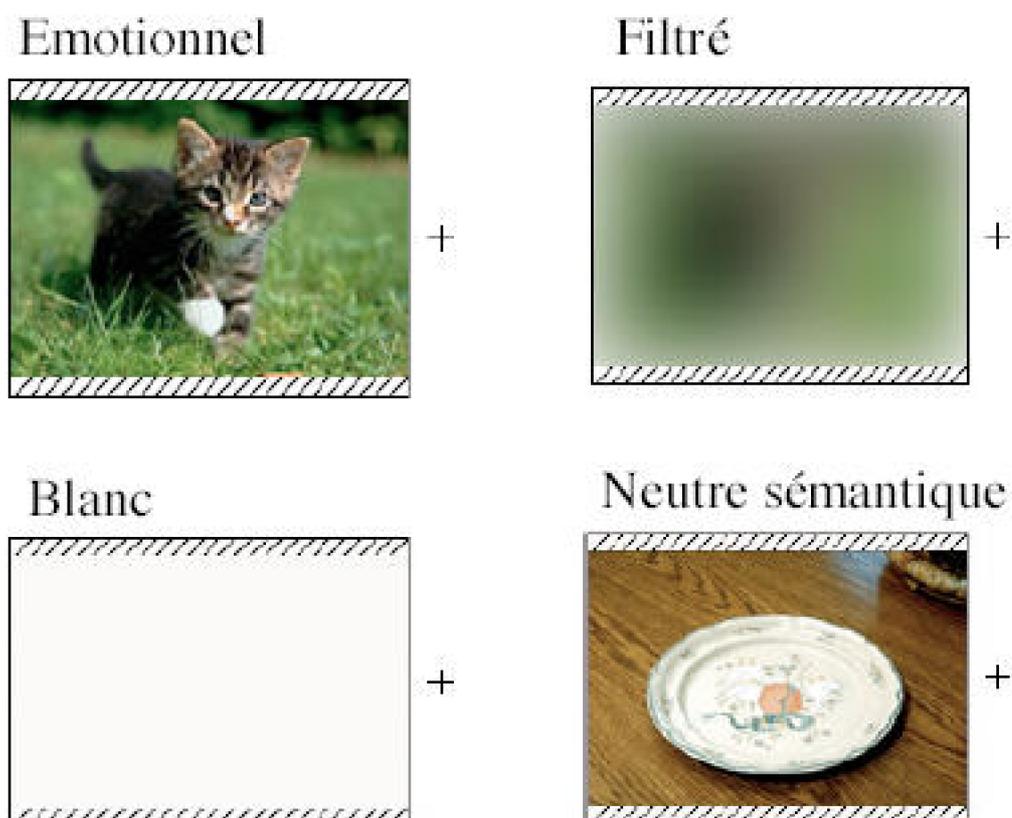


Fig. 5.5 Exemples des stimuli utilisés dans l'Expérience 1. Les stimuli émotionnels sont ceux utilisés dans l'Expérience 1.2, les stimuli filtrés sont ceux utilisés dans l'expérience 1.5, les stimuli blancs sont ceux utilisés dans l'expérience 1.3, et les stimuli neutres sémantiques sont ceux utilisés dans l'expérience 1.4.

Discussion générale de l'Expérience 1

Les cinq expériences présentées avaient comme objectif général de tester l'hypothèse de polarité en étudiant l'asymétrie hémisphérique de l'évaluation émotionnelle. De plus, ces expériences visaient à préciser si l'évaluation émotionnelle se produit de façon implicite. L'Expérience 1.1, dans laquelle il était demandé aux participants d'effectuer un jugement hédonique, a permis de révéler une interaction des facteurs polarité et hémisphère ainsi qu'un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement des stimuli négatifs. Cet avantage hémisphérique gauche a été également obtenu dans l'Expérience 1.2 alors que la tâche des participants était de déterminer si les bordures encadrant les mêmes photographies étaient identiques ou différentes. Les trois expériences contrôles ont suggéré que cet avantage ne reflétait pas une supériorité de l'hémisphère gauche ni pour la tâche elle-même (Expérience 1.3), ni pour le traitement de photographies sémantiques (Expérience 1.4), ni pour le traitement de la composante perceptive des photographies (Expérience 1.5). Par conséquent, les résultats de l'Expérience 1.1 valident l'hypothèse de polarité (voir CC 4) et vont dans le sens de « l'hypothèse de valence revisitée » (voir CN 1). Les résultats de l'Expérience 1.2 et des expériences contrôles suggèrent que

l'évaluation des stimuli négatifs est d'ordre automatique (voir CC 5).

Au moins deux limites de ce travail peuvent être signalées. La première limite concerne les expériences contrôles. En effet, comme cela apparaît clairement dans la figure 5.4, et principalement pour les expériences 1.4 et 1.5, le fait statistique de ne pas obtenir d'avantage significatif de l'hémisphère gauche ne signifie pas que les deux hémisphères sont égaux dans le traitement des stimuli. Ainsi, une telle absence de significativité doit seulement être considérée comme un indice. La seconde limite concerne les stimuli. Bien que ces stimuli aient été correctement sélectionnés sur la base de leur polarité, comme cela est attesté par un prétest et le faible pourcentage d'erreurs dans l'Expérience 1.1, il est possible que le facteur intensité émotionnelle explique une part importante de la variance. En effet, ce facteur peut représenter un « facteur confondu » dans la mesure où les stimuli négatifs tendent à être plus intenses que les stimuli positifs (voir Davidson & Irwin, 1999). Cette seconde limite a été résolue pour l'expérience suivante (Expérience 2) par l'utilisation de stimuli standardisés provenant de l'International Affective Picture System (Lang & Greenwald, 1993).

Selon l'interprétation de nos résultats en termes d'un avantage hémisphérique gauche, le pattern d'asymétrie hémisphérique observé dans l'Expérience 1.1 n'est pas en accord avec l'interprétation de Davidson (1995) qui visait à clarifier les résultats hétérogènes de la littérature (voir CN 1). Selon cet auteur (i) l'hypothèse de valence et l'hypothèse d'activation asymétrique antérieure rendraient compte d'une asymétrie hémisphérique des fonctions d'expérience émotionnelle et d'expression émotionnelle alors que (ii) l'hypothèse de l'hémisphère droit rendrait compte d'une asymétrie hémisphérique de la fonction d'évaluation. Clairement, l'interprétation de nos résultats en termes d'un avantage hémisphérique gauche n'est pas compatible avec la proposition de Davidson (1995). En revanche, l'interprétation en termes d'un avantage hémisphérique droit est compatible avec l'analyse de Davidson (1995).

Comme cela a été évoqué dans la section consacrée à l'asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels (chapitre 4), une origine de la confusion pourrait venir du fait que des mécanismes spécialisés pour la même polarité soient latéralisés dans des hémisphères différents. Il est possible que notre tâche n'ait pas engagé le cortex préfrontal droit pour le traitement des stimuli négatifs si les stimuli n'ont induit ni expérience ni expression émotionnelle. Au contraire, il est possible que notre tâche ait engagé l'amygdale gauche qui est probablement plus impliquée dans l'évaluation émotionnelle que dans l'expérience émotionnelle (p.ex., Anderson & Phelps, 2002). Seule une étude en imagerie cérébrale permettrait d'observer les implications des différentes structures, notamment l'amygdale gauche et du cortex préfrontal droit, dans l'évaluation des stimuli négatifs. Pour tester l'hypothèse de polarité dans l'évaluation explicite et implicite à un niveau intra-hémisphérique, l'expérience suivante (Expérience 2) a été conduite en IRMf.

Expérience 2 : IRMf événementielle

Dans le cadre d'une collaboration entre l'unité INSERM U438 (CHU Grenoble) et le laboratoire EMC, une étude anatomofonctionnelle de l'évaluation explicite et implicite de stimuli positifs et négatifs a été menée chez le sujet sain.

Précisément, la technique d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle événementielle (IRMf-e) a été utilisée pour déterminer les régions cérébrales différenciellement activées lors de l'évaluation de stimuli positifs et de stimuli négatifs dans deux contextes attentionnels.

Plusieurs raisons nous ont conduits à préférer un paradigme IRMf événementiel au paradigme IRMf de type « bloc » classique. Le fait que la sensibilité de l'IRMf soit suffisante pour détecter des changements transitoires dans la concentration de déoxyhémoglobine qui suit la présentation d'un stimulus unique (Friston et al., 1998) réduit de nombreuses contraintes expérimentales. Ainsi, l'utilisation d'un design événementiel par rapport à un design de type bloc apporte les avantages suivants :

Dans les designs comportant au moins deux types d'événements, il est possible de construire des séquences dans lesquelles les essais apparaissent de façon imprédictible par le participant, *réduisant ainsi les biais d'attente et d'habituation*. Un tel avantage est extrêmement précieux lorsque l'opérationnalisation vise à tester l'hypothèse d'une activation différentielle selon le type d'événement dans une tâche de catégorisation explicite. Ainsi, si la tâche du participant consiste à décider explicitement à quelle catégorie (type d'événement) un stimulus appartient, le type d'événement est alors confondu avec la réponse donnée par le participant. Par exemple, dans une tâche de catégorisation explicite de stimuli selon leur polarité, le type d'événement (Négatif vs Positif) est confondu avec la réponse du participant (le stimulus est catégorisé comme Négatif ou Positif). Dans une telle situation, les biais d'anticipation et d'habituation sont tous deux prédits par l'utilisation d'un design de type « bloc » car chaque bloc ne contient que des événements du même type et le participant fournit par conséquent la même réponse tout au long de chaque bloc en anticipant le type de chaque stimulus présenté ainsi que la réponse à fournir. En revanche, ces deux biais sont évités par l'utilisation d'un design de type « événementiel » car les événements négatifs et positifs sont distribués dans le temps selon une séquence pseudo-aléatoire.

Pouvoir détecter la réponse hémodynamique liée à un événement particulier permet *l'analyse de la réponse à des événements incontrôlables* par l'expérimentateur (p.ex., les hallucinations). Ainsi, l'utilisation en IRMf des paradigmes dans lesquels le délai inter-essais est contrôlé individuellement par chaque participant devient envisageable (Macotta et al., 2001).

La technique événementielle permet d'extraire la réponse BOLD à *des événements d'intérêt définis de façon post-hoc*. Ainsi, une analyse *post-hoc* de la réponse hémodynamique liée à certains essais particuliers est possible sur la base des performances des participants ainsi que sur la base de toute autre variable dépendante. Par exemple, l'utilisation de cette méthode a permis à Williams et al. (2001) de montrer

que l'activation de l'amygdale n'était observée que pour les essais qui provoquaient une réponse électrodermale à la présentation de stimuli émotionnels alors que l'activation de l'hippocampe n'était observée que pour les essais qui ne provoquaient pas cette réponse.

Ces avantages rendent les paradigmes développés en IRMf plus flexibles aux contraintes posées par l'étude expérimentale rigoureuse des mécanismes cognitifs (voir D'Esposito et al., 1999). Deux types principaux de paradigmes sont utilisés en IRMf-e : l'IRMf-e lent (*slow ER-fMRI*) et l'IRMf-e rapide (*fast ER-fMRI*). L'utilisation du paradigme d'IRMf-e lent répond aux contraintes physiologiques posées par la réponse hémodynamique qui, bien que dépendante de la vascularisation de la région cérébrale concernée, possède un temps de retour au niveau basal supérieur à 10 s (Dale, 1999). La valeur de cette latence suggère que pour analyser la fonction de réponse hémodynamique d'une région liée à un événement donné, il est nécessaire de séparer de plus de 10 s deux événements supposés activer la même région. De fait, le IIS (Intervalle Inter-Stimuli) optimum utilisé dans un paradigme événementiel lent est d'environ 20 s (voir Dale, 1999). Cependant, une contrainte essentielle posée par l'étude expérimentale des mécanismes cognitifs concerne la fréquence de présentation des stimuli. En effet, dans l'opérationnalisation de la plupart des hypothèses, il s'avère nécessaire que l'intervalle temporel séparant la présentation (et le traitement) de deux stimuli soit suffisamment court pour diminuer les effets d'interférences avec d'autres mécanismes cognitifs. Une question délicate consiste alors à déterminer comment augmenter la fréquence de présentation d'événements d'un même type tout en conservant un rapport « signal sur bruit » permettant de détecter la réponse BOLD. Le point critique consiste à pouvoir extraire la réponse liée à un événement donné bien que celle-ci soit partiellement recouverte par la réponse évoquée par un événement du même type temporellement proche (ce problème est désigné comme « *the overlap problem* »). Burock et al. (1998) ont démontré qu'une solution consistant à aléatoriser les IIS permet d'utiliser des IIS courts (p.ex., 2 s) tout en obtenant une efficacité au moins équivalente à celle obtenue avec un paradigme IRMf-e lent. Ainsi, un avantage majeur de l'IRMf-e rapide est que la contrainte expérimentale de fréquence de présentation des stimuli peut être respectée.

Dans un article portant sur la technique d'IRMf-e, Friston et al. (1998) prédisaient que : « ***Clearly the next step in event-related fMRI is to characterize the differences in evoked responses elicited by : (i) different classes of stimuli or (ii) the same stimuli in different response or attentional contexts*** ». Le paradigme expérimental que nous avons utilisé pour tester l'hypothèse de polarité dans l'évaluation explicite et implicite nous permettait justement de caractériser les différentes activations évoquées par (i) la classe de stimuli positifs vs la classe de stimuli négatifs et (ii) les mêmes stimuli émotionnels dans un contexte d'attention portée sur la valeur émotionnelle de stimuli vs un contexte d'attention portée sur une propriété non-émotionnelle externe de ces mêmes stimuli. Plus précisément, dans le but de tester l'hypothèse de polarité et l'hypothèse d'automatisme de l'évaluation, nous avons utilisé une procédure expérimentale proche de celle développée dans le cadre de l'étude en champ visuel divisé. Ainsi, les participants ont été testés dans deux conditions attentionnelles. Dans une condition, les participants devaient évaluer explicitement les stimuli (condition d'évaluation explicite : jugement

hédonique) alors que dans l'autre condition, l'évaluation des stimuli n'était pas nécessaire pour effectuer la tâche (condition d'évaluation implicite : jugement de bordures). Notons que la tâche de jugement de bordures a été conçue dans le but de moduler les ressources attentionnelles disponibles pour l'évaluation émotionnelle.

L'utilisation d'un paradigme IRMf événementiel rapide avec un intervalle inter-stimuli aléatorisé a notamment permis, pour la première fois à notre connaissance, d'étudier en IRMf les activations cérébrales lors d'un jugement hédonique explicite en évitant les biais d'attente et d'habituation.

Méthode

Participants

Treize participants sains, droitiers de sexe masculin ont participé à cette expérience. Leur âge moyen était de 22 ans et leur score moyen au test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971) était de 0,88. Tous les participants avaient une vue normale (non corrigée ou corrigée à l'aide de lentilles). Trois participants qui ont montré un taux d'erreurs supérieur à 30% dans la tâche de jugement de bordures ont été exclus des analyses comportementales et d'imagerie cérébrale. Les participants ont signé un formulaire de consentement après avoir été informés sur l'expérience et sur la technique utilisée.

Matériel

Le logiciel *Psyscope 1.2.5* a été utilisé pour la présentation des stimuli et les temps de réponse ont été enregistrés directement par un ordinateur de type Power Macintosh 9600. Les participants répondaient avec leur main droite à l'aide d'un boîtier réponse connecté directement à l'ordinateur par fibres optiques. Les stimuli visuels étaient présentés aux participants grâce à un vidéoprojecteur (Eiki LC 6000), un écran de projection placé à l'arrière de l'imageur et un système de miroirs. Ainsi, dans le tunnel de l'imageur, les participants voyaient les stimuli dans un miroir situé au-dessus de leur tête. Chaque participant avait la tête maintenue dans une gouttière, portait des "boules quiès" et tenait dans sa main gauche une poire lui permettant d'interrompre l'expérience si cela était nécessaire.

Acquisition des données IRM

L'acquisition des données IRM a été faite au moyen d'un imageur clinique à 1,5 Tesla (Philips ACS II). Vingt trois coupes fonctionnelles (épaisseur d'une coupe 5 mm) jointives, transverses et parallèles à l'axe commissure antérieure (CA) - commissure postérieure (CP), ont été acquises. Une séquence en écho de gradient a été utilisée avec les paramètres suivants : TR = 2000 ms, angle de basculement = 90°, champ de vision = 256x256 mm², matrice d'acquisition = 64x64, matrice de reconstruction = 128x128. Après le scan fonctionnel, l'acquisition d'un scan anatomique a été réalisé. Durant ce scan, 150 coupes anatomiques transverses et jointives (1 mm d'épaisseur chacune) et centrées sur le même axe que les coupes fonctionnelles ont été effectuées afin de permettre la

superposition ultérieure avec le scan fonctionnel.

Stimuli

Trois types de stimuli ont été utilisés : des stimuli négatifs, des stimuli positifs et un événement nul (*null event*, point d'exclamation, « ! »).

Les stimuli émotionnels étaient des photographies en couleur provenant de l'International Affective Picture System (IAPS ; Lang & Greenwald, 1993). Pour chaque photographie de l'IAPS, des valeurs de valence et d'intensité (*arousal*) ont été attribuées sur la base d'un prétest (voir Lang & Greenwald, 1993). Les stimuli ont été sélectionnés selon ces valeurs. Ils ont été constitués de sorte que la valeur moyenne des photographies négatives et celle des photographies positives s'écartent de la neutralité d'une distance équivalente. La neutralité était fixée à 5 sur une échelle hédonique allant de 1 (très négatif) à 9 (très positif). En outre, dans le but d'exclure, lors de l'interprétation des résultats, l'hypothèse selon laquelle les activations sont fonction de l'intensité (*arousal*) des stimuli, le facteur « intensité » a été contrôlé (voir Davidson & Irwin, 1999; Garavan et al., 2001). Ainsi, les stimuli ont été constitués de sorte que l'intensité moyenne soit équivalente pour les stimuli négatifs et positifs. Par conséquent, les stimuli émotionnels se répartissaient en 52 photographies négatives (valence moyenne: 2,9, Ecart-Type (ET) : 0,65 ; intensité moyenne : 5,1, ET : 0,79) et 52 photographies positives (valence moyenne: 7,1, ET : 0,44 ; intensité moyenne : 4,9, ET : 0,99).

La taille des photographies a été uniformisée afin qu'elles sous-tendent pour les participants un angle visuel de 7 degrés en largeur de 5,5 degrés en hauteur. Sur chaque photographie, une bordure inférieure et une bordure supérieure ont été ajoutées. Chaque bordure contenait en son centre un signe qui était orienté vers la gauche (<) ou vers la droite (>). Comme présenté à la figure 5.6, les bordures inférieure et supérieure pouvaient être soit identiques soit différentes. Ainsi, quatre configurations par polarité émotionnelle ont été obtenues : deux configurations ayant des « bordures identiques » et deux configurations ayant des « bordures différentes ».

Les 74 « événements nuls » consistaient en la présentation d'un point d'exclamation central (!) sous-tendant un angle visuel de 0,5 degrés.

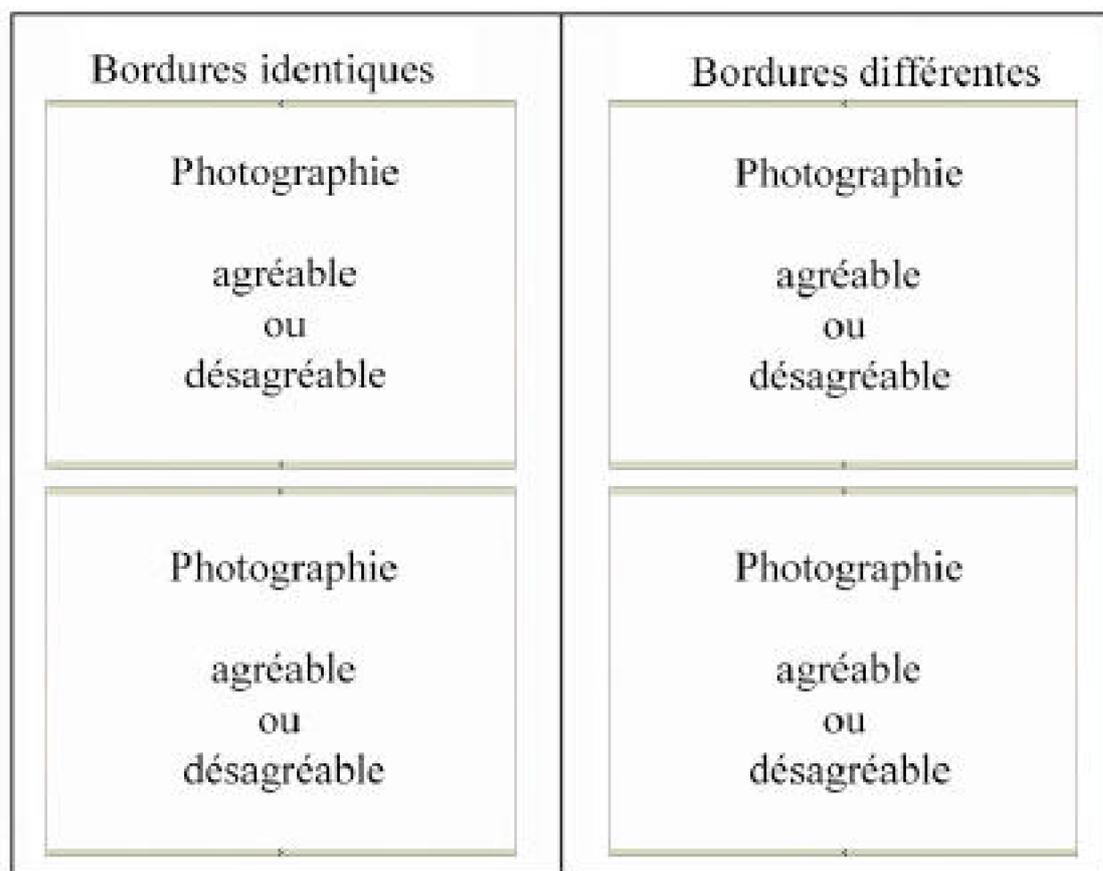


Fig. 5.6 Événements utilisés dans les sessions durant lesquelles l'évaluation était implicite ou explicite. Chaque photographie (positive ou négative) est encadrée par des bordures inférieure et supérieure étant soit identiques soit différentes.

Procédure

Avant de participer à l'expérience, chaque participant remplissait un formulaire de consentement et un test de latéralité d'Edinburgh (adaptation du test de Oldfield, 1971).

Les consignes étaient expliquées par l'expérimentateur puis les participants étaient installés dans l'imageur.

Chaque participant a été testé durant deux sessions expérimentales indépendantes. Le même paradigme expérimental a été utilisé pour ces sessions. Seule la tâche variait d'une session à l'autre.

Durant la session pour laquelle l'évaluation était explicite, il était demandé aux participants d'effectuer un jugement hédonique sur les photographies présentées. Ainsi, dans cette condition, les participants devaient répondre le plus rapidement et le plus justement possible si chaque photographie présentée était agréable ou désagréable. La moitié des participants a répondu « agréable » avec l'index et « désagréable » avec le majeur alors que l'autre moitié a répondu inversement.

Durant la session pour laquelle l'évaluation était implicite, il était demandé d'effectuer un jugement de bordures sur les stimuli présentés. Ainsi, dans cette condition, les

participants devaient juger le plus rapidement et le plus justement possible si les bordures encadrant chaque photographie étaient identiques ou différentes. La moitié des participants a répondu « même » avec l'index et « différent » avec le majeur alors que l'autre moitié a répondu inversement.

Pour les deux sessions, il était demandé aux participants de presser aléatoirement une des deux touches de réponse lorsque l'événement nul était présenté. En effet, un événement nul « actif » a été préféré à un événement nul « passif » (un point randomisé dans le temps au sein de la séquence de stimuli au cours duquel aucun événement stimulus n'est présenté, voir Burock et al., 1998). Nous avons fait ce choix car nous souhaitons qu'aucun des voxels présentés dans les cartes statistiques (*spm*) des effets principaux ne reflète l'activation évoquée par la réponse motrice. Ceci impliquait de postuler qu'une réponse hémodynamique serait générée dans les mêmes régions cérébrales motrices lorsque la réponse manuelle serait effectuée en réaction aux événements nuls et en réaction aux événements émotionnels.

L'ordre des sessions a été contrebalancé de sorte que la moitié des participants a commencé avec la session pour laquelle l'évaluation était implicite alors que l'autre moitié a commencé avec la session pour laquelle l'évaluation était explicite. Les participants sortaient de l'imageur durant approximativement 30 mn entre les deux sessions.

Chacune des sessions débutait par une phase d'entraînement comportant une suite de 50 essais. Chaque essai était constitué d'un point de fixation (+) présenté durant 500 ms suivi d'un mot présenté jusqu'à la réponse du participant. Ce mot était soit le mot « agréable » soit le mot « désagréable » pour la session durant laquelle l'évaluation était explicite, et soit le mot « même » soit le mot « différent » pour la session durant laquelle l'évaluation était implicite. La série d'essais était présentée en champ visuel central dans un ordre pseudo-aléatoire contrôlé de sorte que jamais plus de 4 stimuli identiques ne se suivaient. Durant cette phase, il était demandé aux participants d'appuyer sur la touche du boîtier correspondant au mot présenté. Cette phase d'entraînement avait pour but de s'assurer d'un bon apprentissage associatif entre le type de réponse attendu et la touche de réponse.

Après la série d'entraînement, les participants débutaient la session expérimentale. Le paradigme utilisé étant de type événementiel, il n'était pas nécessaire de distribuer les stimuli d'un même type dans un même bloc expérimental. Chaque session contenait 178 essais présentés dans un ordre pseudo-aléatoire contrôlé qui répondait à des contraintes (i) *d'efficacité* d'estimation de la réponse hémodynamique tenant compte des contrastes d'intérêt et (ii) *d'attente* d'un type d'événement de la part des participants. Ainsi, d'une part, l'ordre des événements a été calculé en utilisant une simulation de type Monté-Carlo pour que l'efficacité dans l'analyse des contrastes soit optimisé. Ce calcul a permis de générer des séquences potentielles. D'autre part, la séquence retenue vérifiait les contraintes d'attente selon lesquelles (i) jamais plus de 4 essais contenant des stimuli de même polarité ne se suivaient et (ii) jamais plus de 4 essais contenant des stimuli dont les bordures avaient le même type de configuration ne se suivaient. Toutes les 2000 ms, un signal provenant de l'imageur déclenchait un essai constitué d'un événement durant 1500 ms suivi d'un point de fixation durant 500 ms. L'intervalle inter-événements (i.e., l'intervalle entre le début d'un événement et le début de l'événement suivant du *même*

type) était aléatorisé. L'intervalle inter-événements moyen était de 5760 ms (min = 2000 ms, max = 18000ms) pour les événements de type négatif et de 6240 ms (min = 2000 ms, max = 24000ms) pour les événements de type positif.

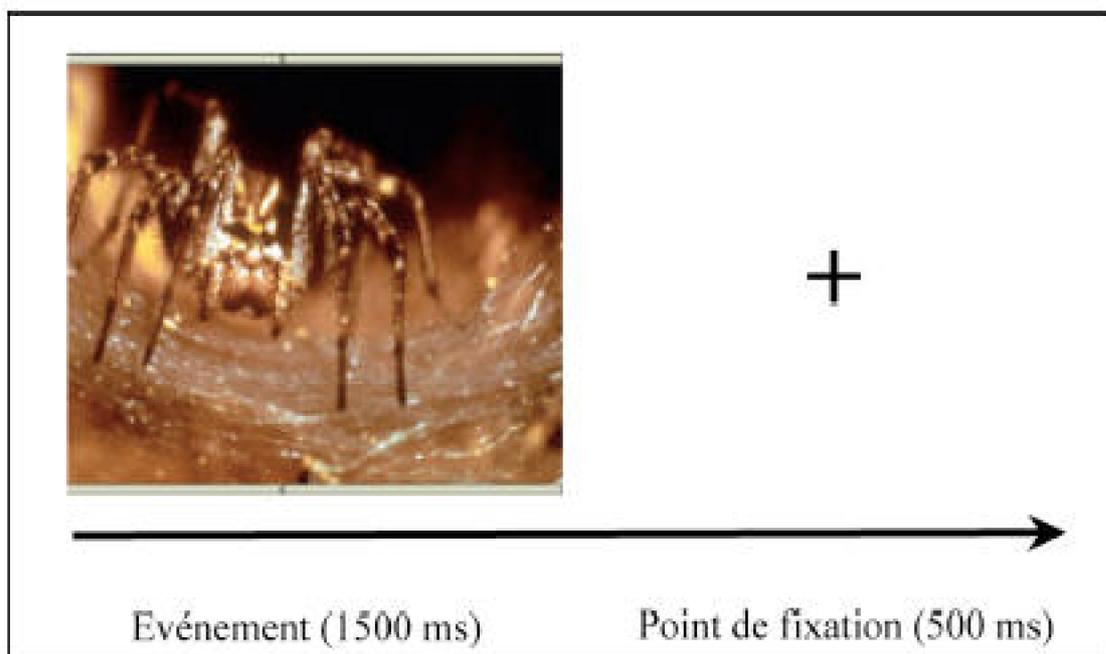


Fig. 5.7 Exemple d'un essai utilisé dans les conditions d'évaluation explicite et d'évaluation implicite. Chaque événement (ici négatif dont les bordures sont identiques) était présenté durant 1500 ms puis suivi d'un point de fixation durant 500 ms.

Résultats

Des analyses comportementales ainsi que des analyses sur les données d'imagerie par résonance magnétique ont été effectuées.

Analyses comportementales

Une analyse de variance (ANOVA) sur les temps de réponse moyens ainsi que sur les nombres moyens de bonnes réponses a été effectuée avec la polarité (stimuli négatifs vs stimuli positifs) et la session (implicite vs explicite) comme facteurs. Pour la session dans laquelle l'évaluation était implicite, une réponse était correcte si le jugement de bordures était correct. Pour la session dans laquelle l'évaluation était explicite, une réponse était correcte si elle correspondait à la polarité attribuée par l'IAPS. Avant de moyenner les temps de réponse, les événements pour lesquels les participants avaient commis une erreur étaient exclus (15,9% d'erreurs dans la session pour laquelle l'évaluation était implicite ; 7,8% d'erreurs dans la session pour laquelle l'évaluation était explicite). De plus, pour chaque session, un élagage indépendant a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque modalité du facteur polarité, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à deux fois la moyenne était remplacé par la moyenne. Dans l'ensemble, cet élagage a conduit à remplacer 0,5%

des réponses dans la session pour laquelle l'évaluation était implicite et 0,1% des réponses dans la session pour laquelle l'évaluation était explicite. Notons que pour les analyses qui suivent, les effets non présentés n'étaient pas significatifs ($p > .05$ dans tous les cas).

Cette analyse a révélé que les participants étaient significativement plus lents et ont commis significativement plus d'erreurs en effectuant la tâche de jugement de bordures (respectivement, 1166 ms et 15,9% d'erreurs) qu'en effectuant la tâche explicite (respectivement, 771 ms et 7,8% d'erreurs), respectivement $F(1, 9) = 208, p < .0001$ pour les temps de réponse et $F(1, 9) = 7.3, p < .03$ pour le taux d'erreurs.

L'effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses n'était significatif pour aucune session, $F(1, 9) < 1$ pour les deux sessions. Notons que les participants ont jugé correctement la configuration des bordures pour 84,2% des événements négatifs et 84% des événements positifs durant la session pour laquelle l'évaluation était implicite. D'autre part, ils ont évalué correctement 92,3% des événements négatifs et 92,1% des événements positifs durant la session pour laquelle l'évaluation était explicite.

De plus, en moyenne sur les deux sessions, les participants répondaient significativement plus lentement aux événements négatifs (999 ms) qu'aux événements positifs (939 ms), $F(1, 9) = 45.4, p < .0001$. L'analyse a également révélé une interaction des facteurs « polarité » et « session » sur les temps de réponse. Ainsi, le ralentissement dans le traitement des événements négatifs (1187 ms) par rapport aux positifs (1145 ms) pour la tâche de jugement de bordures était plus faible que pour la tâche de jugement hédonique (respectivement, 811 ms et 732 ms), $F(1, 9) = 6.3, p < .04$. Notons que, comme illustré dans la figure 5.8, ce ralentissement était significatif pour la tâche de jugement de bordures, $F(1, 9) = 19.3, p < .003$, ainsi que pour la tâche de jugement hédonique, $F(1, 9) = 35.2, p < .0004$.

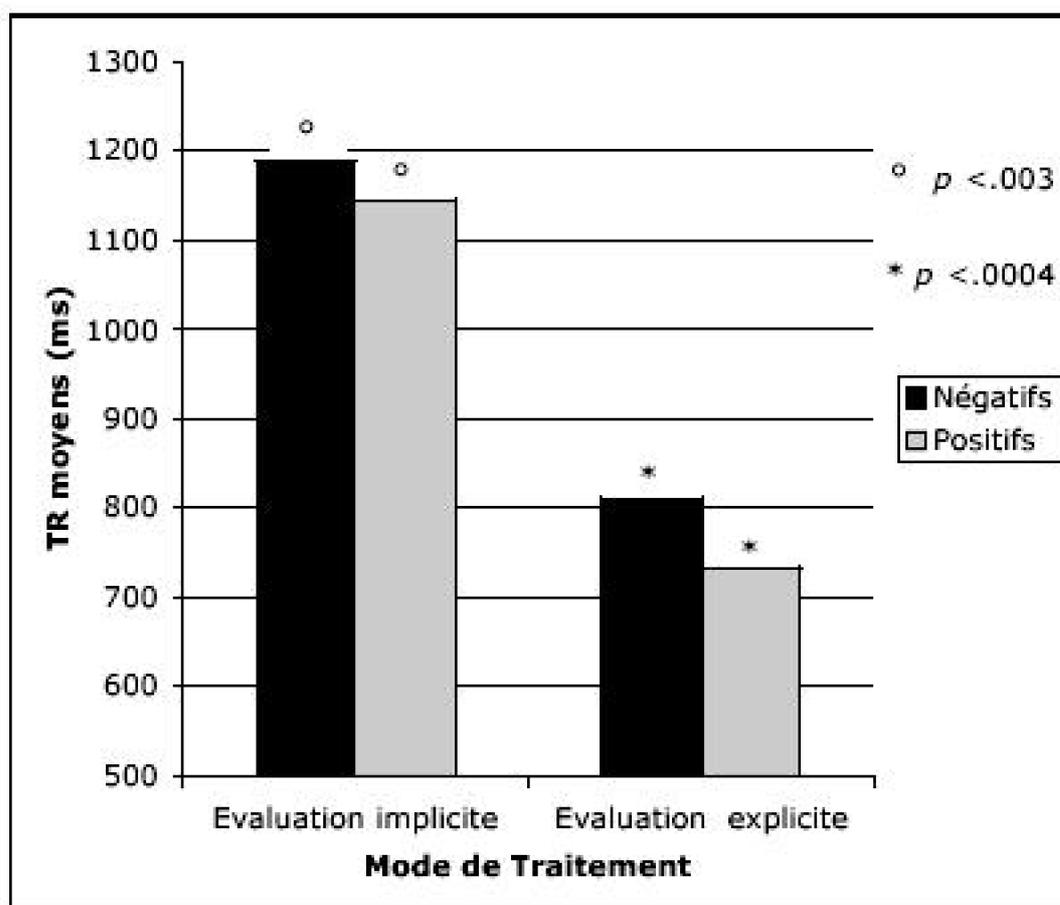


Fig. 5.8. Temps de réponse moyens des participants dans les conditions d'évaluation implicite et explicite en fonction de la polarité des stimuli. Un biais de négativité est obtenu dans les deux sessions.

Analyse des données IRMf

Les données IRMf ont été analysées en utilisant le modèle linéaire général pour designs événementiels implémenté dans le logiciel Statistical Parametric Mapping (SPM 99, voir Friston et al., 1995 ; Josephs et al., 1997).

Une série d'opérations de pré-traitement spatial a été effectuée sur les données avant de réaliser une analyse statistique. Le premier pré-traitement effectué était le découpage temporel (fonction « *Slice timing* ») qui consistait à corriger pour chaque volume les décalages d'acquisition entre les 23 coupes. La coupe 11 (milieu physique du volume) a été prise comme coupe de référence. Le second pré-traitement était le réalignement (fonction « *realign* ») qui consistait à corriger pour chaque participant les artefacts dus aux mouvements de sa tête lors de chacune des deux sessions. Le premier volume acquis a été pris comme volume de référence. Le troisième pré-traitement effectué était la normalisation (fonction « *normalize* ») qui consistait à transformer le scan anatomique de chaque participant de façon à l'ajuster sur un repère spatial (*template*) standard (le repère MNI du Montréal Neurological Institute). Pour chaque participant, la transformation effectuée sur son scan anatomique a été ensuite appliquée à ses 178

scans fonctionnels. Le dernier pré-traitement était le lissage spatial (fonction « *smooth* ») qui consistait à appliquer un filtre gaussien passe-bas (*FWHM*) d'une taille de 8 X 8 X 10 mm pour permettre les analyses statistiques corrigées.

La réponse hémodynamique évoquée par chacun des types d'événements (événement nul, événement négatif et événement positif) a été modélisée par une fonction canonique de réponse hémodynamique (*Hemodynamic Response Function, HRF*) et sa dérivée temporelle (voir Hopfinger et al., 2000).

Deux types de modèles statistiques ont été utilisés pour effectuer les analyses sur le signal BOLD. Le premier modèle était dit « effets fixes » (*Fixed-Effects Model, FFX*) alors que le second était dit « effets aléatoires » (*Random-Effects Model, RFX*). Dans le modèle FFX, la seule quantité aléatoire considérée était l'erreur résiduelle. Dans le modèle RFX, pour chaque contraste d'intérêt, les images de contraste de chaque participant ont été entrées dans un second niveau d'analyse avec « participants » comme facteur aléatoire. Pour les deux analyses, les effets ont été testés en appliquant des contrastes linéaires aux paramètres estimés de l'activité événementielle de chaque voxel. Chaque contraste a généré une statistique *t* (*t-statistic*) constituant une carte statistique paramétrique (*spm*) qui était ensuite transformée en une distribution Z.

Pour les deux analyses, un seuil d'intensité du voxel $P = 0.05$, corrigé pour les comparaisons multiples à travers tout le cerveau, a d'abord été utilisé. Les activations qui sont rapportées avec un $P = 0.05$ corrigé ont systématiquement été observées avec un modèle FFX. De plus, lorsque cela est précisé dans le texte, les activations qui ont survécu à un seuil d'intensité de $P = 0.001$ pour l'analyse FFX et de $P = 0.005$ pour les analyses par sujet et RFX (Hamann & Mao, 2002), non corrigé pour les comparaisons multiples, sont également rapportées pour les régions d'intérêt *a priori*.

Pour le calcul des contrastes, les quatre types d'événements ont été pris en compte : deux conditions (implicite vs explicite) X deux polarités (négative vs positive).

Les coordonnées MNI identifiées avec SPM99 ont été transformées en coordonnées de l'espace de Talairach de façon à pouvoir identifier les structures cérébrales avec l'atlas de Talairach et Tournoux (1988). Notons que dans cette section, les coordonnées sont rapportées dans l'espace MNI.

Pour les deux sessions, les réponses neurales évoquées par l'évaluation des événements positifs (respectivement négatifs) ont été identifiées en contrastant les essais dans lesquels un stimulus positif (respectivement négatif) était présenté avec les essais dans lesquels un événement nul était présenté. Les activations révélées par ces contrastes sont présentées dans le tableau 5.1. La figure 5.9 illustre en particulier que ces contrastes ont mis en évidence une réponse bilatérale de l'amygdale à l'évaluation explicite des stimuli positifs (gauche, $x = -16$, $y = -4$, $z = -15$, $P < 0.05$ corrigé; droite, $x = 24$, $y = 0$, $z = -15$, $P < 0.001$ non corrigé) et négatifs (gauche, $x = -24$, $y = 0$, $z = -20$, $P < 0.05$ corrigé; droite, $x = 24$, $y = 0$, $z = -15$, $P < 0.001$ non corrigé).

Région	H	Stimuli Positifs			Stimuli Négatifs						
		Coordonnées			AB	Z	Coordonnées			AB	Z
		x	y	z		Score	x	y	z		Score
(a) Condition d'évaluation explicite											
Amygdale	G	-24	0	-20		3.25	-16	-4	-15		4.55
	D	24	0	-15		3.72*	-24	0	-20		4.35*
Cyrus Frontal Moyen	G	-18	28	25	16	3.25	52	4	40	9	4.67
Cyrus Frontal inférieur	G						-48	24	25	45	5.40
	D	56	32	20	45	5.98	-44	20	-10	47	5.25
	D	56	32	20	45	5.98	56	32	20	45	6.61
	D	52	24	-5	47	4.91	52	24	-5	47	4.91
Thalamus	G						-4	-12	10		4.64
Cingulaire Antérieur	D	4	20	10	32	3.20*					
Noyau Caudé	D	4	8	5		3.81*	8	15	5		3.9*
Cyrus Parahippocampique	G						-20	-24	-10	28	4.61
	G/D						-12	-36	-5	30	4.71
	D	24	-20	-10	28	4.72					
C. Temporal Supérieur	G	-48	16	-10	38	3.26					
Lobule Pariétal Supérieur	G/D	-28	-64	50	7	6.25	-28	-64	50	7	Inf
C. Occipitotemporal Médian	G/D						8	-84	0	18	Inf
C. Occipitotemporal latéral	G	-28	-72	-15	18	Inf	-24	76	-15	18	Inf
	D	-50	-76	-15	18	Inf					
	D	28	-68	-15	19	Inf	28	-68	-15	19	Inf
(b) Condition d'évaluation implicite											
Cyrus Precentral	G	-36	-24	65	4	6.90	-36	-28	65	4	6.16
	D	-40	-8	60	4	6.41	-40	-8	60	4	5.65
	D	-41	16	55	4	6.90					
Lobule Pariétal Supérieur	G	-28	-64	50		7.67	-28	-64	50		Inf
	D	28	-60	55	7	5.92	28	-60	55	7	5.90
	D	32	-56	50	7	5.01					
Lobule Pariétal Inférieur	G	-48	-36	55	40	5.10					
Cuneus	G/D	8	-84	5	17	Inf	8	-84	5	17	Inf
C. Occipitotemporal latéral	G/D	-24	-76	-15	18	Inf	-24	-76	-15	18	Inf
Cervelet	G/D	32	-64	-20		Inf	32	-64	-20		Inf

Tableau 5.1 Les coordonnées indiquent la localisation des pics d'activation dans l'espace MNI pour (a) l'évaluation explicite et (b) l'évaluation implicite des photos positives et négatives. Le modèle à effets fixes "fixed-effects model" a été utilisé pour rapporter ces activations ($P < 0.05$ corrigé pour les comparaisons multiples). Le sigle "*" signifie que pour des régions d'intérêt a priori, les activations sont rapportées avec un seuil de $P < 0.001$ (non corrigé pour les comparaisons multiples). H = hemisphere, AB = Aire de Brodmann, G = Hémisphère Gauche, D = Hémisphère Droit. G/D signifie que le voxel symétrique (sur l'axe gauche/droite) de celui qui présente un pic d'activation dans la carte SPM était aussi activé. Ces voxels symétriques ne sont rapportés que si aucun autre pic d'activation n'a été observé dans la région symétrique.

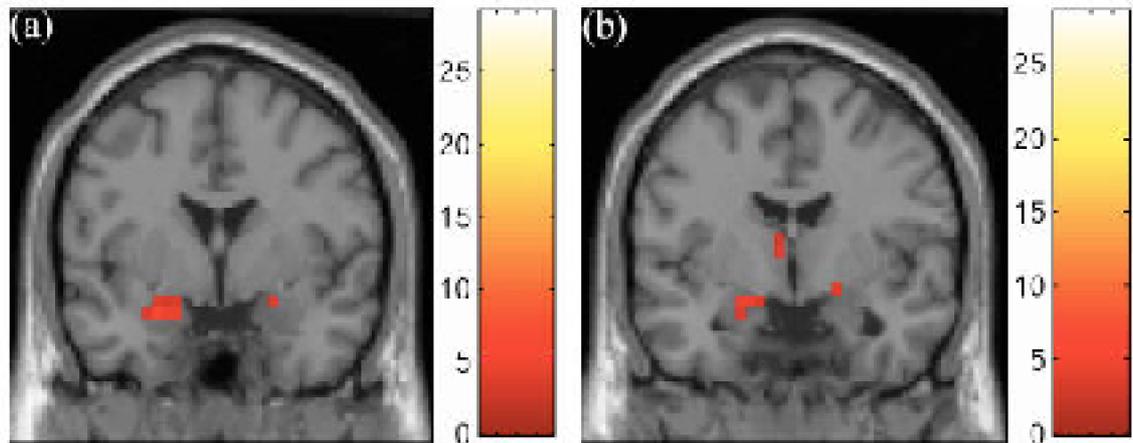


Fig. 5.9 Activation de l'amygdale lors de l'évaluation explicite des photographies (a) positives (gauche, $x = -16$, $y = -4$, $z = -15$, $P < 0.05$ corrigé; droit, $x = 24$, $y = 0$, $z = -15$, $P < 0.001$ non corrigé) et (b) négatives (gauche, $x = -24$, $y = 0$, $z = -20$, $P < 0.05$ corrigé; droit, $x = 24$, $y = 0$, $z = -15$, $P < 0.001$ non corrigé). Les cartes d'activation sont présentées à un seuil de $P < 0.001$ (non corrigé pour les comparaisons multiples en utilisant le modèle FFX) et superposées sur une coupe coronale d'une image T1 canonique. Les coordonnées (x, y, z) correspondent à l'espace MNI.

Pour tester si l'amygdale était significativement plus activée par l'évaluation explicite que par l'évaluation implicite, nous avons effectué les contrastes comparant les conditions d'évaluation explicite et d'évaluation implicite pour chaque type d'événement en utilisant le modèle RFX. Ces contrastes ont révélé une augmentation de la réponse pour l'évaluation explicite des événements négatifs dans l'amygdale (gauche, $x = -20$, $y = -4$, $z = -15$, $P < 0.005$ non corrigé; droite, $x = 24$, $y = -4$, $z = -20$, $P < 0.005$ non corrigé), le gyrus cingulaire antérieur ($x = -4$, $y = 28$, $z = 30$, $P < 0.005$ non corrigé), le gyrus frontal supérieur ($x = -8$, $y = 52$, $z = 10$, $P < 0.005$ non corrigé), et le gyrus frontal inférieur (gauche, $x = -52$, $y = 32$, $z = 0$, $P < 0.005$ non corrigé; droit, $x = 56$, $y = 32$, $z = 15$, $P < 0.001$ non corrigé). Comme partiellement représentée dans la figure 5.10, une augmentation de la réponse pour l'évaluation explicite a également été observée pour les stimuli positifs dans l'amygdale (gauche, $x = -20$, $y = -4$, $z = -15$, $P < 0.001$ non corrigé; droite, $x = 24$, $y = -4$, $z = -20$, $P < 0.005$ non corrigé), le gyrus cingulaire antérieur ($x = -4$, $y = 28$, $z = 25$, $P < 0.001$ non corrigé), le gyrus frontal supérieur (gauche, $x = -8$, $y = 52$, $z = 10$, $P < 0.001$ non corrigé; droit, $x = 12$, $y = 52$, $z = 30$, $P < 0.005$ non corrigé), et le gyrus frontal inférieur (gauche, $x = -48$, $y = 36$, $z = 15$, $P < 0.005$ non corrigé; droit, $x = 52$, $y = 32$, $z = 20$, $P < 0.001$ non corrigé). En particulier, la figure 5.10 montre les structures *a priori* qui étaient plus activées par l'évaluation explicite des stimuli positifs que par l'évaluation implicite de ces mêmes stimuli.

Ces résultats reflètent le fait qu'aucune activation n'ait atteint le seuil de significativité dans ces régions cérébrales durant l'évaluation implicite des stimuli émotionnels, comme cela est présenté dans le tableau 5.1. En particulier, la réponse de l'amygdale à ces événements n'a pas atteint ce seuil (en utilisant le modèle FFX, un voxel, $x = 20$, $y = -12$, $z = -10$, a été détecté activé: $Z = 2.46$, $P = 0.009$ non corrigé pour les stimuli négatifs, et $Z = 1.44$, $P = 0.05$ non corrigé pour les stimuli positifs).



Fig. 5.10. Régions cérébrales plus activées par l'évaluation explicite des photographies positives que par l'évaluation implicite de ces mêmes stimuli. Les cartes d'activation sont présentées à un seuil de $P < 0.001$ (non corrigé pour les comparaisons multiples en utilisant le modèle RFX) auquel (a) le gyrus frontal supérieur ($x = -8, y = 52, z = 10$), (b) l'amygdale gauche ($x = -20, y = -4, z = -15$), (c) le gyrus frontal inférieur ($x = 52, y = 32, z = 20$) et le gyrus cingulaire antérieur ($x = -4, y = 28, z = 25$) ont été observés. Les cartes ont été superposées sur une coupe coronale d'une image T1 canonique. Les coordonnées (x, y, z) correspondent à l'espace MNI.

Se fondant sur nos prédictions, nous avons testé l'hypothèse de polarité pour deux aires cérébrales d'intérêt : (1) l'amygdale et (2) les gyri frontaux inférieur et moyen. L'effet de la polarité a été recherché selon deux approches.

La première approche a consisté à effectuer des contrastes directs comparant l'évaluation des événements négatifs et positifs en utilisant le modèle RFX. Les contrastes comparant l'évaluation explicite de ces événements a révélé que deux régions du gyrus frontal inférieur droit ($x = 60, y = 12, z = 30$; $x = 36, y = 20, z = -20$ $P < 0.005$ non corrigé) étaient plus activées par les stimuli négatifs que positifs. Ces résultats sont illustrés à la figure 5.11. Les contrastes comparant les réponses évoquées par les événements négatifs et positifs dans la condition d'évaluation implicite n'ont pas révélé d'activation différentielle dans les aires d'intérêt *a priori* (même à un seuil de $P < 0.005$ non corrigé avec le modèle FFX).

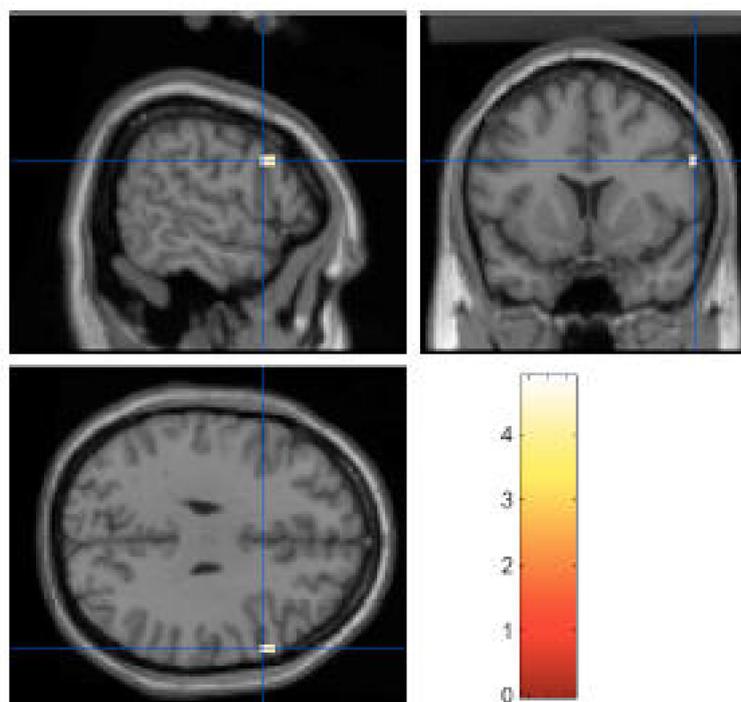


Fig. 5.11 Dans la condition d'évaluation explicite, le gyrus frontal inférieur droit ($x = 60$, $y = 12$, $z = 30$, $P < 0.005$ non corrigé avec le modèle RFX). La carte d'activation est présentée à un seuil de $P < 0.005$ (non corrigé pour les comparaisons multiples en utilisant le modèle RFX) et superposée sur une coupe coronale d'une image T1 canonique. Les coordonnées (x , y , z) correspondent à l'espace MNI.

Puisqu'un des objectifs principaux de cette étude était de tester l'hypothèse de polarité en recherchant une asymétrie hémisphérique éventuelle, une analyse de variance ANOVA sur le nombre de voxels activés a été effectuée pour chaque région d'intérêt avec « hémisphère » et « polarité » comme facteurs. Pour déterminer le nombre de voxels activés dans l'amygdale de chaque sujet, une « correction sur petit volume (*Small Volume Correction*) » utilisant une sphère d'un rayon de 8mm a été appliquée aux valeurs p pour l'amygdale (p.ex., Morris et al., 2001b). Les coordonnées utilisées pour définir le centre de l'amygdale ($x = \pm 20$, $y = -8$, $z = -13$ dans l'espace de Talairach) étaient celles proposées par Phillips et al. (2001). Cette ANOVA n'a pas révélé d'effet significatif. En particulier, l'interaction des facteurs hémisphère et polarité n'était pas significative ($F < 1$). En utilisant une procédure comparable, nous souhaitons tester le modèle d'activation asymétrique antérieure proposé par Davidson (Davidson, 1995). Par conséquent, nous avons effectué une ANOVA sur le nombre de voxels activés dans les gyri frontaux inférieur et moyen avec « hémisphère » et « polarité » comme facteurs. Pour chaque sujet, nous avons vérifié que l'ensemble des activations présentes à un seuil d'intensité du voxel de $P < 0.005$ (non corrigé) et à un seuil d'étendue spatiale de 4 voxels contigus observé au niveau du cluster était à l'intérieur des gyri frontaux inférieur et moyen. Cette analyse a révélé une interaction des deux facteurs, $F(1, 9) = 7.2$, $p < .025$. Deux des quatre contrastes calculés étaient significatifs. Ces contrastes ont révélé que l'évaluation explicite des stimuli négatifs activait un nombre supérieur de voxels dans les gyri frontaux inférieur et moyen de l'hémisphère droit (en moyenne 30.8) que dans ceux de l'hémisphère

gauche (en moyenne 14.7), $F(1, 9) = 15.6, p < .004$. De plus, les contrastes ont également révélé que plus de voxels des gyri frontaux inférieur et moyen de l'hémisphère droit étaient activés dans l'évaluation explicite des stimuli négatifs (en moyenne 30.8) que dans celle des stimuli positifs (en moyenne 16.2), $F(1, 9) = 12.8, p < .007$.

Discussion

Notre premier objectif était, dans l'intention de tester l'hypothèse de polarité, d'identifier les régions cérébrales polarité-dépendantes impliquées dans l'évaluation émotionnelle. Notre second objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle les contraintes attentionnelles modulent le pattern d'activations cérébrales associé à l'évaluation émotionnelle.

Evaluation émotionnelle explicite

Un réseau de structures cérébrales impliqué dans l'évaluation explicite des photographies négatives et positives a été identifié.

Nous interprétons la vaste activation observée dans les gyri occipitotemporaux latéral et médian comme reflétant les traitements visuels nécessaires à l'intégration des propriétés visuelles complexes des photographies de l'IAPS (voir p.ex., Bartels & Zeki, 1998). Une telle activation du cerveau visuel reproduit des résultats obtenus dans d'autres études utilisant des stimuli comparables (p.ex., Lane et al., 1997b; Simpson et al., 2000).

Le noyau caudé, qui est supposé être impliqué dans les émotions positives (voir Davidson & Irwin, 1999) et dans le traitement des stimuli positifs (p.ex., Hamann & Mao, 2002; Lane et al., 1997b), a répondu à la fois aux stimuli négatifs et positifs dans notre étude. L'activation du noyau caudé par les photographies négatives reproduit des résultats obtenus dans d'autres études (p.ex., Simpson et al., 2000) et suggère que cette structure n'est pas spécifique aux émotions positives.

Bien que l'activation du lobule pariétal supérieur n'ait pas été prédite, ce résultat est cohérent avec les résultats obtenus par Lang et al. (1998) qui ont montré que le traitement de photographies émotionnelles, mais pas neutres, du IAPS produisait une activité dans cette structure. De plus, Morris et al. (1998a) ainsi que Morris et al. (1999) ont observé que le traitement de visages exprimant la joie activait plus cette structure que le traitement de visages exprimant la peur. Il est également intéressant de noter que Beaugregard et al. (2001) ont observé que cette structure était plus activée par le visionnage d'extraits de films érotiques que par le visionnage d'extraits de films émotionnellement neutres. Nos résultats étendent les données disponibles en suggérant que le lobule pariétal supérieur pourrait également être impliqué dans l'évaluation de stimuli négatifs.

Les gyri frontaux latéral et moyen étaient également constitutifs de ce réseau, reproduisant ainsi des résultats obtenus pour le traitement de stimuli négatifs (Canli et al., 1998; Simpson et al., 2000, Taylor et al., 1998) et positifs (Canli et al., 1998, Paradiso et al., 1999).

Un résultat essentiel de notre étude a été de montrer que l'amygdale répondait de

façon bilatérale à l'évaluation explicite des stimuli non faciaux négatifs et positifs. Ce résultat appelle trois thèmes de discussion.

Premièrement, le fait que nous ayons observé, pour la première fois à notre connaissance, une réponse amygdalienne lors d'un *jugement hédonique* sur des photographies complexes est cohérent avec les résultats montrant une activation de l'amygdale lors de l'évaluation sur une échelle de stimuli comparables (p.ex., Liberzon et al., 2000; Taylor et al., 1998). Ainsi, ce résultat confirme que l'utilisation d'une tâche de visionnage passif (p.ex., Hamann & Mao, 2002) ou d'une tâche purement perceptive (p.ex., Hariri et al., 2000) ne sont pas des contraintes nécessaires à l'observation d'une activation amygdalienne.

Deuxièmement, reproduisant un résultat obtenu dans d'autres études (p.ex., Irwin et al., 1996), l'amygdale a répondu aux photographies négatives de façon *bilatérale* et non pas latéralisée à gauche. Bien que nous ayons obtenu une activation de l'amygdale gauche avec un seuil statistique plus stricte que celui qui nous a permis de révéler une activation amygdalienne droite, l'analyse ANOVA effectuée sur le nombre de voxels activés dans cette région n'a pas mis en évidence d'asymétrie hémisphérique. Le fait que nous ayons observé une activation bilatérale est à contraster avec le fait qu'une large majorité des études suggère un avantage de l'amygdale gauche par rapport à l'amygdale droite pour le traitement des stimuli négatifs. Sur la base des données disponibles concernant l'asymétrie hémisphérique de cette structure, on peut proposer que les différences dans les propriétés computationnelles attribuées à l'amygdale gauche vs droite (p.ex., Morris et al., 1996; Liberzon et al., 2000; Wright et al., 2001) reposent sur des différences dans les propriétés physiologiques (voir Schaefer et al., 2000) telle que la dynamique temporelle de la réponse (Phillips et al., 2001).

Troisièmement, un résultat important est que la réponse bilatérale de l'amygdale a été également évoquée par l'évaluation explicite des photographies *positives*. Ce résultat est cohérent avec un corpus de résultats issus de recherches chez l'animal (voir Davis & Whalen, 2001 ; Everitt et al., 2000) et chez l'homme suggérant une implication de l'amygdale dans le traitement de stimuli positifs tels que des visages exprimant la joie (p.ex., Breiter et al., 1996; Gorno-Tempini et al., 2001), des mots positifs (Hamann & Mao, 2002), des photographies positives (Hamann et al., 1999; Hamann et al., 2002; Garavan et al., 2001), des saveurs positives (O'Doherty et al., 2001), des extraits de vidéos érotiques (Beauregard et al., 2001; Karama et al., 2002), des films induisant l'amusement (Aalto et al., 2002), l'attente de saveurs positives (O'Doherty et al., 2002) et les récompenses (voir Small, 2002; Zalla et al., 2000). L'activation polarité-indépendante de l'amygdale, suggérée par les contrastes directs et les résultats de l'ANOVA, pourrait aider à interpréter des résultats existants ainsi qu'à construire de nouvelles procédures expérimentales en IRMf. Par exemple, Canli et al. (1998) ont demandé à leurs participants de traiter des blocs de photographies de l'IAPS négatives ou positives. Ces auteurs ont trouvé une absence d'activation amygdalienne dans leur étude pour le contraste comparant la réponse aux stimuli négatifs à la réponse aux stimuli positifs et l'ont interprétée comme indiquant que l'amygdale n'est pas nécessaire pour ressentir des affects négatifs. De façon alternative, le fait de considérer que l'amygdale répond aux stimuli positifs aurait conduit à la prédiction d'une absence de différence significative dans

le contraste effectué par ces auteurs.

Aires cérébrales polarité-dépendantes

Certaines aires cérébrales ont été activées, au seuil de $P < 0.05$ corrigé, par l'évaluation explicite d'un seul type d'événement émotionnel. Reproduisant un résultat de Lane et al. (1997b), le gyrus parahippocampique gauche a été activé par les photographies négatives mais pas par les positives. Le gyrus parahippocampique droit, ainsi que le gyrus temporal supérieur gauche ont été activés par les photographies positives mais pas par les négatives. Cependant, insistons sur le fait qu'il n'est pas prudent de proposer des conclusions fortes basées sur l'*absence* d'effet significatif. En effet, il est possible que des voxels qui n'ont pas atteint le seuil de significativité pour un type d'événement mais l'ont atteint pour l'autre type aient, en fait, participé à l'évaluation des deux types d'événements. D'ailleurs, l'ensemble des aires qui ont été activées par l'évaluation des événements d'un type avec un seuil strict ($P < 0.05$ corrigé) ont également été activées par l'évaluation des événements de l'autre type avec un seuil moins strict ($P < 0.005$ non corrigé). De plus, aucune de ces aires n'a survécu aux contrastes directs comparant les réponses aux deux types d'événements émotionnels.

Deux résultats obtenus en testant l'hypothèse de polarité soutiennent le modèle d'activation antérieure asymétrique (voir Davidson, 1995). Premièrement, un contraste direct a révélé une région cérébrale polarité-dépendante : une région du gyrus frontal inférieur droit répondait plus aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs. Ce résultat confirme les résultats obtenus par Canli et al. (1998) en utilisant un design de type bloc montrant que le gyrus frontal inférieur droit était plus activé par les stimuli négatifs que par les stimuli positifs. Le second résultat concerne l'interaction des facteurs « polarité » et « hémisphère » ainsi que la présence d'un nombre de voxels activés dans les gyri frontaux latéral et moyen droit plus élevé pour l'évaluation des stimuli négatifs que pour l'évaluation des stimuli positifs. De plus, l'étendue d'activation de ces gyri droit était plus vaste que l'étendue d'activation de ces gyri gauche pour l'évaluation des stimuli négatifs. Alors que l'ensemble de ces résultats était prédit par le modèle d'activation antérieure asymétrique, l'interaction « polarité » et « hémisphère » ne valide pas l'hypothèse de l'hémisphère droit.

Modulation de l'activité cérébrale par les contraintes attentionnelles

Le pattern d'activation cérébrale présenté ci-dessus pour la condition d'évaluation explicite a été fortement modulé par les contraintes attentionnelles. En particulier, aucune aire *a priori* activée par l'évaluation explicite n'a été activée par l'évaluation implicite. Il apparaît difficile de déterminer si les aires activées non attendues sont associées (i) à l'exécution de la tâche attentionnelle sur les bordures ou (ii) au traitement implicite de la valeur émotionnelle des stimuli.

Les activations du cuneus et du gyrus occipital latéral sont interprétés comme reflétant le traitement visuel des stimuli. Nous interprétons l'activation du gyrus précentral comme reflétant les mouvements oculaires que les participants devaient exécuter pour effectuer la tâche de jugement Même/Différent. En effet, l'activation précentrale incluait le

frontal eye field qui est la région principale impliquée dans le contrôle oculomoteur (Petit et al., 2001 ; voir Paus, 1996). De plus, il est probable que l'activation du gyrus précentral reflète également le fait que la tâche ait engendré une charge élevée en mémoire de travail (de Fockert et al., 2001).

L'activation du cervelet a été observée dans une large variété de tâches cognitives (voir Cabeza & Nyberg, 2001). Dans notre étude, l'activation cérébelleuse peut être interprétée soit comme évoquée par la tâche soit comme évoquée par les stimuli. La première interprétation est fondée sur le fait que le cervelet est impliqué dans les tâches visuelles avec saccades oculaires (p.ex., Calhoun et al., 2001) et dans les tâches de rotation mentale (p.ex., Parsons et al., 1995). Ces deux composants étaient probablement engagés dans la tâche de jugement de bordures. D'autre part, des études de patients (p.ex., Parvizi et al., 2001 ; Schmahmann & Sherman, 1998) et des études en imagerie cérébrale (p.ex., Aalto et al., 2002 ; Imaizumi et al., 1997) suggèrent un rôle du cervelet dans le système émotionnel, en particulier concernant le composant émotionnel lié au système nerveux autonome (Critchley et al., 2000a). Ainsi, bien que l'interprétation selon laquelle l'activation cérébelleuse ait été générée par la tâche ne puisse pas être écartée, des arguments nous permettent de proposer une implication du cervelet dans l'évaluation émotionnelle implicite. De nouvelles expériences seront nécessaires pour départager ces deux hypothèses.

L'activation du lobule pariétal supérieur peut également être interprétée comme étant évoquée par la tâche ou comme étant évoquée par les stimuli. En effet, le rôle du lobe pariétal dans les tâches visuospatiales est largement documenté (voir Marshall & Fink, 2001) et il est probable que des mécanismes visuospatiaux aient été recrutés pour l'exécution de la tâche de jugement de bordures. Cependant, deux résultats nous conduisent à proposer que cette structure soit impliquée dans l'évaluation émotionnelle. Premièrement, la même région du lobule pariétal supérieur a été activée à la fois par la tâche explicite et par la tâche de jugement de bordures, suggérant ainsi que cette activation est induite par les photographies. Deuxièmement, comme déjà évoquée plus haut, une activation de cette structure a été observée lors de traitements émotionnels (p.ex., Lang et al., 1998; Morris et al., 1998a, 1999). En particulier, Beauregard et al. (2001) ont observé que cette structure était plus activée par le visionnage d'extraits de films érotiques que par le visionnage de films neutres dans une condition au cours de laquelle il était demandé aux sujets d'inhiber l'intensité émotionnelle induite par les films érotiques. Ce résultat est particulièrement intéressant si nous considérons le fait que, dans notre condition d'évaluation implicite, les participants ont probablement essayé d'inhiber l'intensité émotionnelle induite par les stimuli pour augmenter leurs performances à la tâche. De façon cohérente avec les résultats obtenus par Lang et al. (1998) ainsi que par Rämä et al. (2001), une activation du lobule pariétal inférieur a également été observée. De nouveau, les données disponibles ne permettent pas de déterminer si cette activation a été évoquée par la tâche ou par l'évaluation émotionnelle implicite.

Aucune réponse amygdalienne n'a été détectée dans la condition d'évaluation implicite. Cette absence de réponse appelle quelques commentaires. Tout d'abord, notons que, pour les deux conditions, les données comportementales ont montré que les participants répondaient plus lentement lorsque les photographies étaient négatives que

lorsqu'elles étaient positives. Ce biais de négativité suggère que, dans la tâche de jugement de bordures, les participants ont évalué les photographies alors que celles-ci n'étaient pas pertinentes pour la tâche. Ce résultat concernant les temps de réponse est cohérent avec de nombreuses données comportementales et d'imagerie cérébrale suggérant que des informations émotionnelles soient accessibles au cerveau humain de façon automatique (voir Musch & Klauer 2002; Öhman & Mineka, 2001). En particulier, les études d'imagerie cérébrale ont révélé que l'amygdale répond aux visages non reconnus exprimant la peur, alors que ceux-ci ne sont pas pertinents pour la tâche et sont présentés hors du champ de la conscience (Morris et al., 1998b, 1999, 2001a; Whalen et al., 1998) et hors du champ attentionnel spatial (Vuilleumier et al. 2001a). L'implication de l'amygdale dans l'évaluation de stimuli non consciemment perçus est également suggérée par des études sur des patients *blindsight* (de Gelder et al., 1999, 2002; Morris et al., 2001b) et des patients héminégligents (Vuilleumier & Schwartz, 2001b ; Vuilleumier et al., 2002). De plus, il a été montré que le traitement de mots négatifs (Isenberg et al., 1999) et de visages (e.g., Critchley et al., 2000b ; Gorno-Tempini, 2001) qui sont dans le champ attentionnel mais sont traités de façon incidente active l'amygdale. Un processus automatique peut être défini comme un processus qui ne requiert ni intention ni attention, qui peut être actif hors du champ de la conscience même s'il n'est pas pertinent pour la tâche, et qui peut être actif en parallèle à un processus qui est pertinent pour la tâche (pour discussion, voir Bargh & Ferguson, 2000). Si cette définition est adoptée, alors des résultats critiques restent à être obtenus pour démontrer que l'amygdale est impliquée dans l'évaluation émotionnelle *automatique*. Deux explications peuvent être avancées pour expliquer l'absence d'activation amygdalienne significative dans la session pour laquelle l'évaluation était implicite. Premièrement, il se pourrait que l'amygdale ait répondu aux stimuli émotionnels mais que nos analyses statistiques n'aient pas permis la mise en évidence de cette activation. Rappelons d'ailleurs que l'amygdale a été activée pour les stimuli négatifs à un seuil de $P = 0.009$ non corrigé. La seconde explication propose que l'absence d'activation significative amygdalienne soit un effet de la tâche. Une telle modulation amygdalienne par un changement dans le traitement cognitif est cohérente avec les résultats d'autres études. Par exemple, Taylor et al. (1998), ainsi que Liberzon et al. (2000) ont rapporté que la réponse amygdalienne aux stimuli négatifs observée dans une tâche d'évaluation avec échelle disparaissait dans une tâche de reconnaissance. De plus, Hariri et al. (2000) ont observé une activation amygdalienne lorsque les participants devaient apparier l'expression émotionnelle d'un visage à celle d'un visage cible, mais pas lorsque les participants devaient choisir un label linguistique pour identifier l'expression émotionnelle d'un visage cible. Beauregard et al. (2001) ont également montré un effet de la tâche sur la réponse amygdalienne en observant une activation lorsque les participants répondaient normalement aux extraits de films érotiques, mais pas lorsqu'ils devaient essayer d'inhiber l'intensité émotionnelle induite par le film.

Il apparaît important de remarquer que l'originalité de la tâche que nous avons utilisée dans la condition d'évaluation implicite par rapport aux tâches utilisées dans les études antérieures (p.ex., Critchley et al., 2000b; Gorno-Tempini, 2001; Gusnard et al., 2001; Isenberg et al., 1999; Lane et al., 1997a; Narumoto et al., 2001; Simpson et al., 2000), concerne deux aspects. Premièrement, la difficulté de la tâche (telle qu'elle est indexée par les temps de réponse relativement longs et le nombre d'erreurs relativement

élevé) ainsi que l'activation du gyrus précentral pouvant refléter une charge élevée en mémoire de travail (de Fockert et al., 2001) nous conduit à suggérer que notre tâche de jugement de bordures (décision Même/Différent) nécessitait plus de ressources attentionnelles que les autres tâches utilisées dans lesquelles l'évaluation était également incidente (décision Homme/Femme, décision Intérieur/Extérieur, décision de contour, comptage du nombre d'individus présents dans les photographies, ou dénomination de couleur). Deuxièmement, le fait que les autres tâches requièrent que les participants traitent une propriété particulière des stimuli eux-mêmes rend ces stimuli *pertinents pour la tâche* et nécessite un niveau de traitement relativement profond. En revanche, puisque notre tâche nécessitait que l'attention sélective soit focalisée sur une partie du stimulus qui n'appartenait pas aux photographies, ces dernières étaient *non pertinentes pour la tâche*. Cette différence liée à l'objet sur lequel l'attention sélective est basée se révèle cruciale si l'on considère les résultats de O'Craven et al. (1999) ayant montré que porter attention à un attribut d'un objet augmente la représentation neurale non seulement de cet attribut mais également des autres attributs du même objet. Donc, la nature même de la tâche de jugement de bordures et le fait que les stimuli étaient des objets visuellement complexes a pu empêcher le système cognitif de s'engager dans un traitement suffisamment profond pour activer l'amygdale. De façon cohérente, en étudiant les interactions des émotions et de l'attention, Lane et al. (1999) ont observé une activation significative de l'amygdale seulement pour les photographies très intenses dans une condition où les ressources attentionnelles utilisables pour l'évaluation étaient réduites. Selon nous, un tel résultat montrant que l'activation amygdalienne est susceptible d'être modulée en fonction des contraintes attentionnelles suggère que l'amygdale n'implémente pas un processus automatique mais que cette structure évalue les stimuli émotionnels *par défaut*. En effet, en s'inspirant de l'hypothèse de modulation attentionnelle proposée par Smith et al. (2001) pour expliquer l'activation sémantique en lecture, il nous semble que les données disponibles suggèrent que l'accès à la valeur émotionnelle d'un stimulus est le réglage par défaut (*default setting*) de l'amygdale. Cette suggestion nécessite d'être testée directement et est cohérente avec la proposition de Hariri et al. (2000) selon laquelle le niveau de traitement associatif qui est implémenté dans l'amygdale peut être modulé par des structures corticales.

Un réseau activé préférentiellement par l'évaluation émotionnelle explicite

Pour tester l'hypothèse d'une implication différentielle des aires cérébrales engagées dans l'évaluation émotionnelle en fonction des contraintes attentionnelles, nous avons identifié les régions *a priori* qui étaient plus activées par l'évaluation explicite que par l'évaluation implicite. Notre raisonnement était le suivant : puisque les participants ont perçu le même ensemble de stimuli dans les deux conditions, alors les aires plus actives dans la condition d'évaluation explicite que dans la condition d'évaluation implicite sont des aires activées préférentiellement par la tâche d'évaluation émotionnelle explicite. Les comparaisons directes des conditions d'évaluation explicite et d'évaluation implicite ont révélé une modulation attentionnelle de l'évaluation émotionnelle.

L'activation du cortex cingulaire antérieur et du cortex préfrontal médian est particulièrement compatible avec les résultats de deux études qui ont observé des

activations proches en utilisant des stimuli et des tâches similaires. En effet, Lane et al. (1997a) ont montré qu'une région du cortex cingulaire antérieur s'étendant au cortex préfrontal médian était plus activée lorsque les participants focalisaient leur attention sur la valence émotionnelle (négative, positive, ou neutre) que lorsqu'ils focalisaient leur attention sur l'organisation (intérieur, extérieur, ou ni l'un ni l'autre) de photographies émotionnelles de l'IAPS. En utilisant la même tâche, Gusnard et al. (2001) ont confirmé ces résultats et insisté sur l'importance du cortex préfrontal médian dans l'évaluation émotionnelle explicite. Nos résultats sont également compatibles avec les données montrant un rôle du cingulaire antérieur dans le traitement des représentations somatiques de second ordre (Critchley et al., 2001) ainsi que dans les mécanismes liés à la douleur (voir Peyron et al., 2000). Nos résultats pourraient refléter les fonctions du cingulaire antérieur et du cortex préfrontal médian dans l'expérience émotionnelle (Damasio et al., 2000; George et al., 1996; Ketter et al., 1996; Lane et al., 1998; Reiman et al., 1997) et suggèrent que l'évaluation émotionnelle pourrait recruter un réseau impliqué dans l'expérience émotionnelle. Ces résultats sont également compatibles avec notre proposition théorique selon laquelle le cingulaire antérieur et le cortex préfrontal médian sont des structures clés du sous-système de génération d'instructions émotionnelles.

Finalement, nos résultats suggèrent que le cingulaire antérieur et le cortex préfrontal médian sont des structures polarité-indépendantes et qu'elles pourraient constituer un réseau en interagissant avec l'amygdale et le gyrus frontal inférieur qui étaient également plus activés par l'évaluation explicite que par l'évaluation implicite. Comme cela a été proposé par Davidson et al. (2000), ce réseau pourrait faire partie du circuit neural sous-tendant la régulation émotionnelle.

Chapitre 6. Expériences chez le patient

Expérience 3 : Emotions irrépressibles et amygdale

Le patient FC a été testé dans le cadre d'une collaboration avec le Docteur Michèle Puel (Service de Neurologie, CHU Purpan ; INSERM U455, Toulouse).

Une expérience comportementale a été effectuée chez ce patient dans le but d'étudier le rôle de l'amygdale dans l'évaluation émotionnelle implicite de mots.

Présentation du cas FC

Monsieur FC, ébéniste né en 1936, était âgé de 64 ans lorsque nous l'avons testé. Ce patient droitier est suivi par le Dr Puel depuis 1998. Le motif des premières consultations concernait la présence d'épisodes aigus pseudo-confusionnels marqués par des troubles mnésiques, des hallucinations et des propos incohérents. Les manifestations critiques de type temporal avec absence ont persisté depuis 1998 mais ont diminué suite à un traitement antiépileptique (Depakine). Aucun antécédent neurologique familial n'a été signalé chez FC et ses antécédents personnels concernent une hypertension artérielle ainsi qu'une hypercholestérolémie. Précisons également que suite à un accident de chasse en 1986, de la limaille de fer persiste au niveau du scalp et au niveau des globes

oculaires. La présence de cette limaille interdit toute étude en IRM anatomique ou fonctionnelle.

En consultation, les plaintes de FC sont centrées sur ses troubles mnésiques et attentionnels. Il a exprimé à plusieurs reprises sa conviction d'être atteint de la maladie d'Alzheimer. Notons d'ailleurs qu'il n'est pas exclu que ses symptômes ne reflètent une entrée atypique dans une démence de type Alzheimer.

Une consultation du premier trimestre 2001 a été l'occasion pour FC de signaler un élément sémiologique inhabituel qui est à l'origine des expériences que nous lui avons proposées par la suite. Ainsi, il a rapporté, selon ses termes, une hypersensibilité à certains morceaux de musique, principalement l'opéra. Notons que FC n'était pas sujet à ce type de comportement avant 1998, période à laquelle ont débuté les manifestations critiques. De plus, ce patient a expliqué que les émotions générées par ces morceaux de musique, qu'il peut identifier aisément, ne sont pas contrôlables. Ces épisodes émotionnels irrépressibles induits par la musique ne sont pas désagréables et conduisent généralement FC à pleurer. Signalons que lors des entretiens cliniques il est apparu que, en plus de l'existence de ces bouffées émotionnelles, ce patient fait preuve d'une indéniable sensibilité artistique.

Monsieur FC a fait depuis 1998 l'objet d'une série d'évaluations neuropsychologiques classiques et d'investigations neurologiques.

Ainsi, les évaluations neuropsychologiques à l'aide de tests standardisés ont révélé des manifestations déficitaires sur le plan de la mémoire (au test de Grober & Buschke), des fonctions exécutives (au test de Wisconsin et à la double tâche de Baddeley) et du système attentionnel (au Trial Making Test).

Les investigations neurologiques des grandes fonctions sensorielles et motrices n'ont pas révélé de troubles. De plus, la réalisation d'un EEG en milieu hospitalier après privation de sommeil n'a pas permis de mettre en évidence d'anomalie critique.

En revanche, une exploration fonctionnelle du débit sanguin cérébral au repos réalisée en TEP a pu mettre en évidence une anomalie. En effet, comme visible sur la figure 6.1, une hyperperfusion relative bilatérale limitée à l'amygdale est observée en situation de repos.

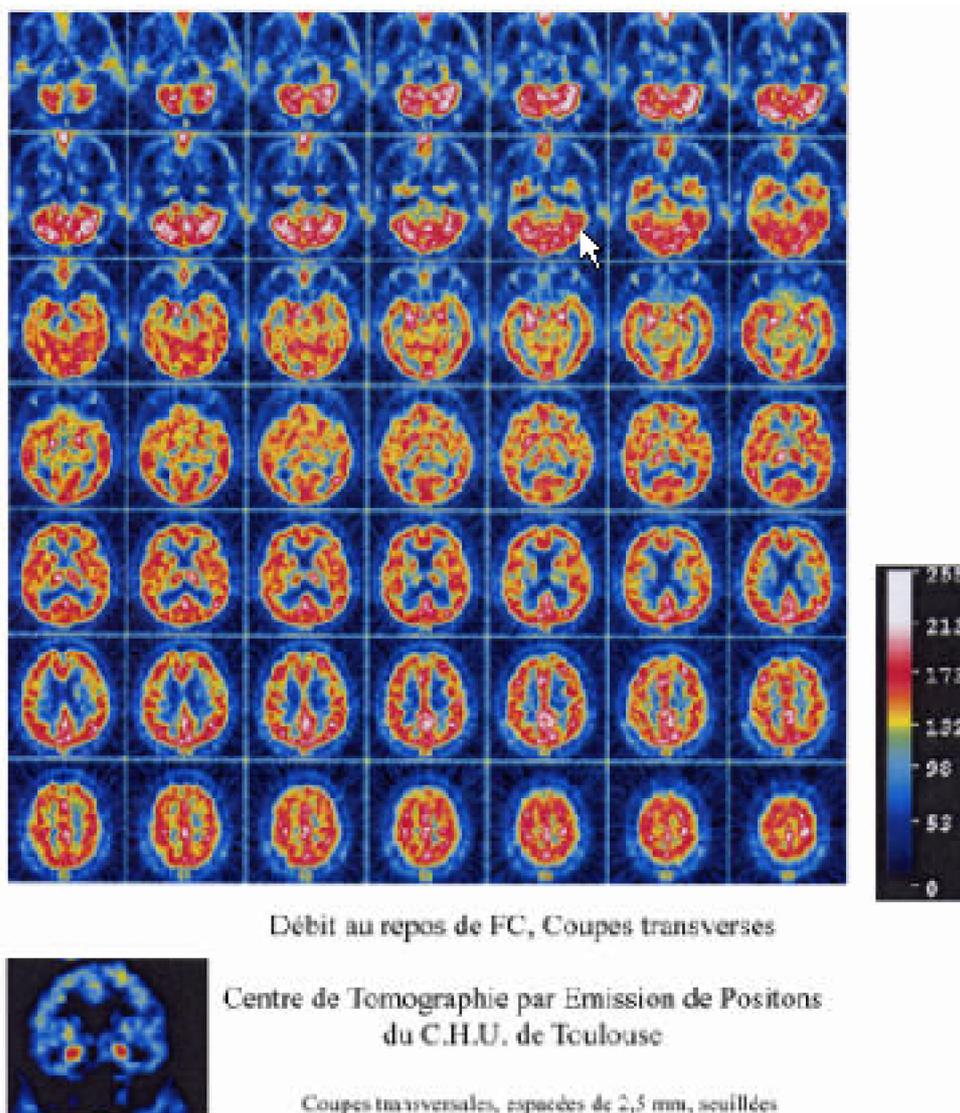


Fig 6.1 Mise en évidence en TEP de l'hyperperfusion amygdalienne du patient FC

Nos hypothèses relatives au système cognitif normal nous ont conduits à nous intéresser aux dysfonctionnements chez FC. Plus précisément, nous avons testé chez ce patient lors d'une étude comportementale nos hypothèses concernant 1) l'implication de l'amygdale dans l'évaluation implicite et 2) un engagement plus marqué de l'amygdale dans l'évaluation de stimuli négatifs que positifs.

Nous avons posé une première hypothèse concernant FC sur la base des données suivantes :

les données d'imagerie cérébrale qui suggèrent l'implication de l'amygdale chez le sujet normal dans l'évaluation émotionnelle implicite (p.ex., Isenberg et al., 1999 ; Morris, Buchel et al., 2001 ; Morris et al., 1998 ; Whalen et al., 1998) ;

les données comportementales (de Gelder et al., 1999 ; 2001) et d'imagerie cérébrale (Morris, de Gelder et al., 2001) chez le patient blindsight qui suggèrent que l'évaluation émotionnelle non consciente s'effectue chez le sujet normal par une voie sous-corticale impliquant l'amygdale (voir aussi pour discussion Petrides, 2001) ;

les données comportementales qui suggèrent un déficit dans l'évaluation émotionnelle implicite chez le patient ayant une lésion bilatérale de l'amygdale (Adolphs et al., 1998 ; Adolphs & Tranel, 1999 ; Anderson & Phelps, 2001) ;

Sur la base de ces résultats suggérant une *évaluation* implicite *normale* chez des sujets ayant une *activité normale* de l'amygdale (i et ii) ainsi qu'une *hypoévaluation* implicite chez des sujets présentant une *hypoactivité* de l'amygdale (iii), nous avons posé l'hypothèse d'une *hyperévaluation* implicite chez le patient FC qui présente une *hyperactivité* de l'amygdale.

Notre seconde hypothèse concerne la polarité-dépendance du mécanisme évaluatif implémenté dans un réseau incluant l'amygdale. Bien qu'un nombre croissant de résultats suggèrent l'implication de l'amygdale dans l'évaluation de stimuli positifs (p.ex., Hamann et al., 1999 ; Hamann & Hui, 2002 ; l'Expérience 2 de ce manuscrit), les résultats dominant dans la littérature proposent que cette structure soit plus impliquée dans l'évaluation des stimuli négatifs que positifs (voir p. ex., Öhman & Mineka, 2001). Dans ce contexte théorique, nous faisons l'hypothèse d'une hyperévaluation émotionnelle plus marquée pour les stimuli négatifs que positifs chez FC. Notons que cette hypothèse est guidée par la littérature et non par la clinique car les émotions irrépressibles dont le patient FC est l'objet sont décrites par le patient comme agréables.

Un intérêt supplémentaire de cette expérience était de tester le domaine de spécialisation de l'amygdale en utilisant des stimuli lexicaux. En effet, les mots écrits peuvent être considérés comme des stimuli émotionnels dont la représentation visuelle *n'est pas évolutionnairement saillante*.

Pour tester ces deux hypothèses, le paradigme de Stroop émotionnel a été adapté. Ce paradigme est une variante de la tâche classique développée par Stroop (1935). Dans cette tâche, il est typiquement demandé aux participants de dénommer la couleur de l'encre avec laquelle une suite de lettres est écrite. L'effet Stroop classique est le suivant : les participants sont plus lents si les suites de lettres forment des mots désignant des couleurs non congruentes avec l'encre (p. ex., le mot « bleu » écrit en jaune) que si les suites de lettres n'ont pas de signification (p.ex., « xxxx » écrit en jaune ; voir MacLeod, 1991) ou représentent des mots ne désignant pas de couleurs. Ainsi, ce paradigme permet d'étudier la façon dont des informations non pertinentes pour la tâche interfèrent avec les processus engagés dans la tâche. Le paradigme classique de Stroop a été modifié dans le but d'étudier si les mots émotionnels peuvent produire des interférences. Ce paradigme, dit « de Stroop émotionnel », a semblé particulièrement indiqué pour étudier l'automatisme de l'évaluation émotionnelle chez FC car les résultats de la littérature suggèrent que l'effet de Stroop émotionnel n'est pas sensible aux stratégies des participants (voir Williams, Mathews, & MacLeod, 1996). Remarquons que ce paradigme a été principalement utilisé dans le champ de la psychopathologie dont un objectif majeur

était de déterminer, dans une population clinique donnée, quel type de stimuli est pathogène. Ainsi, les résultats principaux des études dans ce champ ont révélé que certains patients ayant des troubles émotionnels, principalement l'anxiété, les crises de panique, les phobies, les troubles obsessionnels compulsifs, les troubles post-traumatiques et la dépression étaient significativement plus lents pour dénommer la couleur de mots négatifs que pour dénommer la couleur de mots neutres (voir Williams et al., 1996). Ce ralentissement dans le jugement de couleur selon la valeur émotionnelle des stimuli est appelé « effet Stroop émotionnel ». L'hyperperfusion amygdalienne de FC nous a conduits à prédire une interférence de la valeur émotionnelle des mots avec le jugement de couleur chez ce patient entraînant ainsi l'apparition d'un effet « Stroop émotionnel ». Considérant l'intervalle inter-essais utilisé, nous n'avons pas prédit d'interférence chez le groupe contrôle (voir discussion). D'autre part, la polarité-dépendance présumée de l'amygdale nous a conduits à prédire chez FC une interférence plus importante pour les stimuli négatifs que positifs.

Méthode

Participants

Le patient FC (âge : 64 ans ; nombre d'années d'études à partir du CP : 10) ainsi qu'un groupe contrôle ont participé à cette expérience. Le groupe contrôle était composé de 14 participants masculins (âge moyen : 41 ans, ET : 0,3; nombre d'années d'études moyen à partir du CP : 10,9, ET : 2,6).

Matériel

Le logiciel *MacLab 2.0* a été utilisé pour la présentation des stimuli et les temps de réponse ont été enregistrés directement au moyen d'un ordinateur portable Macintosh iBook. Les participants répondaient à l'aide d'un clavier connecté à l'ordinateur en tant que périphérique externe.

Stimuli

Des mots négatifs, positifs, ou neutres de couleur bleue ou jaune ont été utilisés dans cette expérience. Ces mots ont été prétestés de façon à évaluer leur valeur émotionnelle et leur familiarité. La longueur des mots a été également contrôlée (mots de 6 ou 7 lettres). Un premier prétest sur ces mots avait été effectué par le Dr Catherine Padovan au Laboratoire EMC (Université Lyon 2 ; voir Padovan, Versace, Thomas-Anterion, & Laurent, 2002). Pour déterminer un indice de familiarité, il a été demandé aux participants d'évaluer sur une échelle en 5 points dans quelle mesure chaque mot était familier (1=très peu familier, 5=très familier). De plus, pour déterminer un indice de négativité, il a été demandé aux participants d'évaluer sur le même type d'échelle dans quelle mesure chaque mot était négatif (1=très peu négatif, 5=très négatif). Enfin, pour déterminer un indice de positivité, il a été demandé aux participants d'évaluer sur une troisième échelle dans quelle mesure chaque mot était positif (1=très peu positif, 5=très positif). Sur la base

des résultats de ce prétest, nous avons constitué une sous-liste de 72 mots. Cette liste est présentée dans le tableau 6.1 en fonction de la valeur émotionnelle et de la couleur de chaque mot. Les indices moyens de familiarité, de négativité et de positivité pour chaque condition sont présentés dans le tableau 6.2.

Tab. 6.1 Liste des mots utilisés dans l'expérience de Stroop émotionnel en fonction de leur valeur émotionnelle et de leur couleur.

Couleur	Mots Négatifs	Mots Neutres	Mots Positifs
Bleu	Dégoût	Cadran	Amitié
	Démence	Agence	Charme
	Déprime	Garage	Copain
	Ennemi	Maison	Courage
	Ghetto	Carnet	Délice
	Horreur	Bureau	Famille
	Malheur	Refrain	Fortune
	Meurtre	Cristal	Gaieté
	Misère	Tonneau	Loisirs
	Ordure	Externe	Poussin
	Prison	Ficelle	Saveur
	Victime	Feuille	Sourire
Jaune	Brûlure	Balcon	Amours
	Cadavre	Cercle	Bonheur
	Douleur	Chaise	Cadeau
	Esclave	Falaise	Calins
	Guerre	Guidon	Déesse
	Mortel	Journal	Entente
	Noyade	Machine	Honneur
	Panique	Papier	Idylle
	Phobie	Poteau	Paradis
	Regret	Senteur	Plaisir
	Suicide	Surface	Sagesse
	Vipère	Terrain	Trésor

Tab 6.2 Indices moyens de familiarité, de négativité et de positivité pour chaque condition dans l'expérience de Stroop émotionnel. ET : Ecart-Type.

Couleur	Mots Négatifs	Mots Neutres	Mots Positifs
Bleu	Familiarité moyenne : 3,6 (ET=1)	Familiarité moyenne : 3,7 (ET=1,1)	Familiarité moyenne : 3,7 (ET=1,1)
	Négativité moyenne : 4,75 (ET=0,4)	Négativité moyenne : 1,7 (ET=0,8)	Négativité moyenne : 0,2 (ET=0,4)
	Positivité moyenne : 0,25 (ET=0,4)	Positivité moyenne : 2,8 (ET=0,6)	Positivité moyenne : 4,75 (ET=0,4)
Jaune	Familiarité moyenne : 3,2 (ET=1)	Familiarité moyenne : 3,3 (ET=1,1)	Familiarité moyenne : 3,3 (ET=1,1)
	Négativité moyenne : 4,7 (ET=0,5)	Négativité moyenne : 1,8 (ET=0,9)	Négativité moyenne : 0,2 (ET=0,4)
	Positivité moyenne : 0,3 (ET=0,5)	Positivité moyenne : 2,6 (ET=0,8)	Positivité moyenne : 4,8 (ET=0,4)

Les stimuli ont été créés avec le logiciel Microsoft PowerPoint[©]. Sur un fond grisé à 25%, les mots, bleus ou jaunes, écrits en taille 24 étaient placés au centre de l'écran. Chaque stimulus ainsi constitué était ensuite converti en un fichier de format « .pict » gérable par le logiciel d'expérience *MacLab 2.0*.

Procédure

Le patient FC a été testé à l'Hôpital Purpan (Toulouse) dans un bureau médical calme et les participants contrôles ont été testés individuellement dans une pièce calme.

La tâche des participants était de juger le plus rapidement et le plus justement possible la couleur du mot qui leur était présenté en pressant une des deux touches de réponses du clavier. Utilisant leur main droite, les participants devaient appuyer avec leur index sur la touche « B » lorsque le mot était bleu et avec leur majeur sur la touche « N » lorsque le mot était jaune.

Durant une première phase d'entraînement, les participants répondaient à une suite de 40 essais dans lesquels étaient présentés soit le mot bleu (écrit en bleu) soit le mot jaune (écrit en jaune) jusqu'à la réponse. Ces stimuli étaient présentés dans un ordre pseudo-aléatoire contrôlé de sorte que jamais plus de 3 stimuli identiques ne se suivaient. Cette phase d'entraînement avait pour but de s'assurer d'un bon apprentissage associatif entre la couleur et la touche de réponse.

Après le bloc d'entraînement, les participants s'engageaient dans la session expérimentale. Cette session contenait 72 essais expérimentaux. Ces essais étaient présentés dans un ordre pseudo-aléatoire contrôlé de sorte 1) que jamais plus de 3 essais contenant des stimuli de même couleur ne se suivaient et 2) que jamais plus de 3 essais contenant des stimuli de même valeur émotionnelle ne se suivaient. Le début de chaque essai était signalé par la présence d'un point de fixation noir (« + ») au centre de l'écran restant 500 ms. Ensuite, le mot coloré apparaissait au centre de l'écran jusqu'à la réponse du participant. Après la réponse, un écran blanc durant 1000 ms constituait l'intervalle inter-essais.

Résultats

Deux types d'analyse de la variance ont été effectués. D'une part, une analyse par item a été effectuée sur les résultats de FC et de chacun des participants contrôles. D'autre part une analyse de groupe a été réalisée pour le groupe contrôle. Le faible pourcentage d'erreurs (1,2% en moyenne) et la répartition quasi-équitable des erreurs entre les conditions ne rendaient pas pertinente l'analyse du nombre de bonnes réponses. Notons que pour toutes les analyses qui suivent, les effets non présentés n'étaient pas significatifs ($p > .05$ dans tous les cas).

Analyses par item

Pour chaque participant, une analyse de variance (ANOVA) par item a été réalisée sur les temps de réponse avec la valeur émotionnelle (Négative, Positive, ou Neutre) et la couleur (Bleu vs Jaune) comme facteurs. Avant de calculer la moyenne, les essais pour lesquels le participant avait commis une erreur étaient exclus. De plus, un élagage a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque cellule, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à deux fois la moyenne était remplacé par la moyenne. Précisons qu'une cellule était définie comme le croisement des facteurs « valeur émotionnelle », « couleur » et « longueur ».

Cette analyse effectuée sur les performances de FC n'a révélé aucun effet principal significatif. En particulier, l'effet du facteur « valeur émotionnelle » n'était pas significatif, $F(2, 64) = 2.2$, $p > 1.2$. Cependant, compte tenu de nos hypothèses d'interférence *a priori*, l'analyse des contrastes a été effectuée pour comparer les performances de FC dans les conditions « mots négatifs » vs « mots neutres ». Cette comparaison a été préférée à la comparaison des conditions « mots négatifs » vs « mots positifs » car l'hypothèse concernait l'observation d'une interférence pour les mots négatifs par rapport à une ligne de base, opérationnalisée par les mots neutres. Ainsi, un indice de l'interférence qui peut être confronté aux résultats obtenus dans d'autres études (p.ex., Becker, Rinck, Margraf, & Roth, 2001 ; McKenna & Sharma, 1995 ; Sharma & McKenna, 2001 voir Williams et al., 1996) consiste à comparer les temps de réponse aux stimuli de chaque polarité avec les stimuli neutres (effet de Stroop émotionnel), et non pas à comparer les temps de réponse aux stimuli des deux polarités entre eux. Cette dernière comparaison correspondrait plutôt à la recherche d'un biais de négativité ou de positivité.

Cette analyse a révélé que FC était significativement plus lent pour juger de la couleur des mots négatifs (537 ms) que des mots neutres (486ms), $F(2, 64) = 4,1$, $p < .05$. Par conséquent, une interférence apparaissait chez FC pour les mots négatifs. La différence entre le temps de réponse aux stimuli négatifs vs neutres ($TR[\text{négatifs}] - TR[\text{neutres}]$) est représentée dans la figure 6.2 pour FC et pour chacun des participants. L'analyse des contrastes a révélé que cette différence n'était significative pour aucun des contrôles (voir Tableau 6.3).

L'effet principal du facteur valeur émotionnelle s'est révélé significatif chez le participant contrôle FDA. Ce participant présentait des temps de réponse significativement

différents selon que les mots étaient positifs (433 ms), négatifs (381 ms), ou neutres (378 ms), $F(2, 60) = 3.2, p < .05$. Le calcul des contrastes a révélé que ce participant était significativement plus lent pour juger de la couleur des mots positifs (resp., 433 ms) que pour juger de la couleur des mots neutres (resp., 378 ms), $F(2, 66) = 4.6, p < .04$. D'autre part, le participant contrôle JPS était significativement plus lent pour juger de la couleur des mots jaunes (559 ms) que pour juger de la couleur des mots bleus (488 ms), $F(1, 57) = 7.8, p < .01$.

Le tableau 6.3 représente pour chaque participant le pourcentage total de bonnes réponses, le pourcentage de temps de réponse jugés aberrants, ainsi que la différence dans le temps de jugement de couleur des mots négatifs vs neutres. Pour chaque participant, la p -valeur du contraste évaluant la significativité de cette comparaison est également présentée.

Tab. 6.3 Présentation, pour FC et pour chaque participant contrôle, du pourcentage total de bonnes réponses, du pourcentage de temps de réponse aberrants, et de la différence de temps de réponse aux stimuli négatifs vs neutres avec la p -valeur correspondante à cette comparaison.

Nom du participant	Poucentage total de bonnes réponses	Poucentage de temps de réponse aberrants	TR[négatifs] - TR[neutres] Et p -valeur du contraste
Le patient FC	97,2	2,9	51 ms, $p < ;.05$
Contrôle AS	97,2	1,4	-34 ms, $p > ;.35$
Contrôle BF	100	1,4	0 ms, $p > ;.98$
Contrôle BR	98,6	2,8	-26 ms, $p > ;.66$
Contrôle DJL	97,2	1,4	-18 ms, $p > ;.61$
Contrôle FDA	100	0	3 ms, $p > ;.89$
Contrôle FT	100	0	16 ms, $p > ;.62$
Contrôle JC	100	1,4	0 ms, $p > ;.98$
Contrôle JG	97,2	1,4	4 ms, $p > ;.91$
Contrôle JPF	100	1,4	-47 ms, $p > ;.28$
Contrôle JPS	96	2,9	-6 ms, $p > ;.88$
Contrôle MS	100	1,4	-55 ms, $p > ;.16$
Contrôle PG	97,2	1,4	17 ms, $p > ;.53$
Contrôle PHD	100	1,4	10 ms, $p > ;.54$
Contrôle RT	100	1,4	28 ms, $p > ;.38$

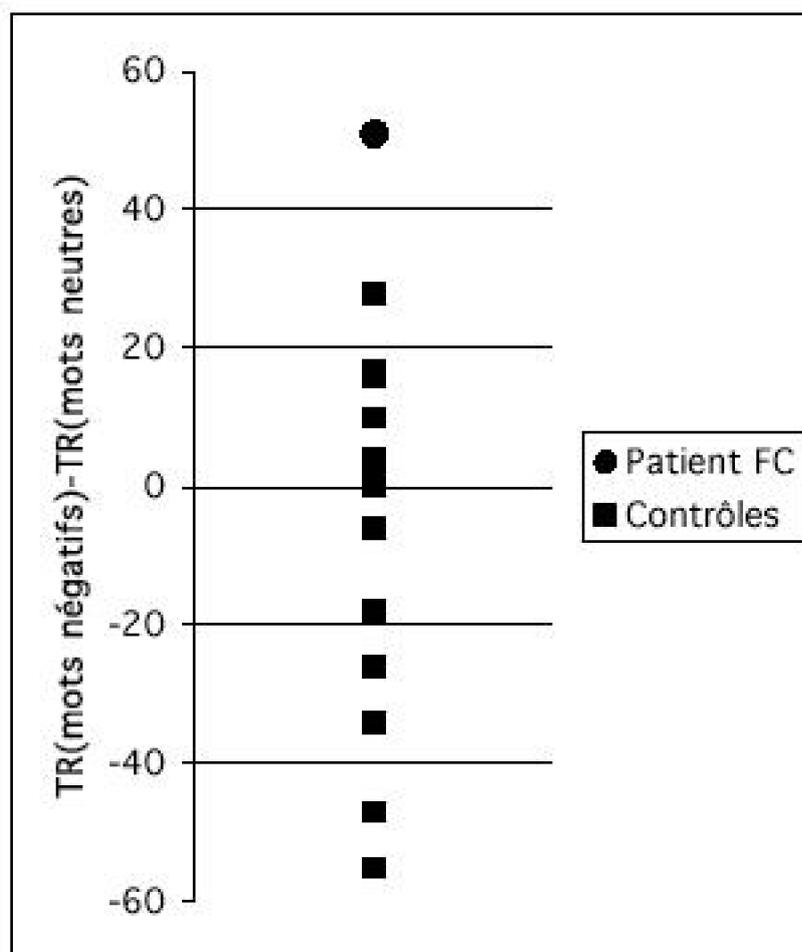


Fig. 6.1. Effet Stroop émotionnel pour les mots négatifs. L'effet est calculé comme la différence entre le temps de réponse aux mots négatifs et aux mots neutres dans la tâche de jugement de couleur. Seul le patient FC présentait une interférence significative pour les mots négatifs.

Analyse du groupe contrôle

Chez le groupe contrôle, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les temps de réponse moyens par sujet avec la valeur émotionnelle (Négative, Positive, ou Neutre) et la couleur (Bleu vs Jaune) comme facteurs. Avant de calculer la moyenne, les essais pour lesquels chaque participant avait commis une erreur étaient exclus. De plus, un élagage a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque participant et pour chaque cellule, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à deux fois la moyenne était remplacé par la moyenne. Précisons qu'une cellule était définie comme le croisement des facteurs « valeur émotionnelle », « couleur » et « longueur ».

Dans l'ensemble, cette analyse a confirmé les résultats obtenus avec l'analyse par item. Le seul effet principal significatif était celui du facteur « couleur ». Ainsi, le jugement de couleur était plus lent pour les mots jaunes (491ms) que pour les mots bleus (467 ms), $F(1, 13) = 7.4, p < .02$. L'effet du facteur « valeur émotionnelle » n'était pas significatif,

(2, 26) = 2.4, $p > 1$, et la différence dans les temps de réponse aux mots négatifs et aux mots neutres ne l'était pas non plus, $F < 1$. La figure 6.2 illustre les temps de réponse moyens du groupe contrôle (analyse de groupe) et de FC (analyse par item).

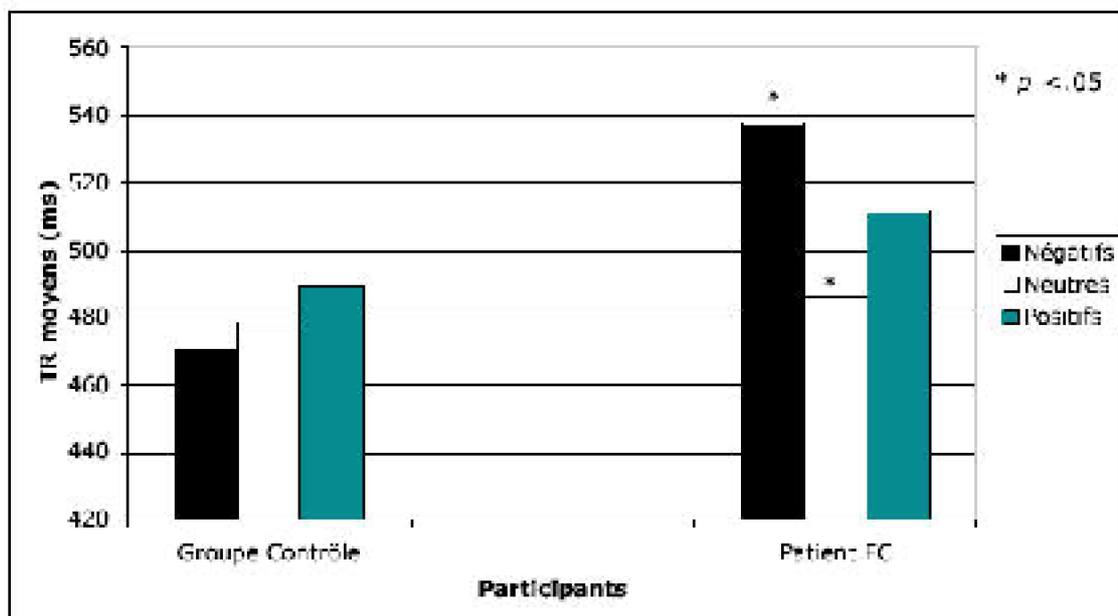


Fig. 6.2 Représentation des temps de réponse moyens du groupe contrôle (analyse de groupe) et du patient FC (analyse par item) à la tâche de Stroop émotionnel.

Discussion

Les résultats obtenus dans la tâche de Stroop émotionnel correspondaient aux prédictions. En effet, les résultats ont révélé une interférence de la valeur des mots négatifs avec le jugement de couleur chez FC. Cette interférence n'est apparue significative chez aucun participant contrôle.

L'ensemble de nos résultats se doit d'être discuté dans le contexte de deux débats concernant les conditions d'observations de l'effet « Stroop émotionnel ». Ces deux débats s'avèrent d'ailleurs particulièrement pertinents pour discuter des deux hypothèses principales avancées dans notre thèse. Le premier débat s'inscrit dans le thème de « l'automatisme de l'évaluation émotionnelle » et le second s'inscrit dans le thème de « la polarité-dépendance ».

Le premier débat concerne la possibilité d'observer un effet « Stroop émotionnel » chez l'individu sain. La plupart des études ont utilisé le paradigme de « Stroop émotionnel » pour démontrer que certains stimuli émotionnels capturent de façon automatique l'attention de patients ayant des troubles émotionnels. Ces recherches comparaient généralement les performances d'un groupe de patients à celles d'un groupe de participants contrôles et mettaient en évidence un effet « Stroop émotionnel » chez la population clinique mais pas chez le groupe sain (voir William et al., 1996). Cependant, le fait que la valeur émotionnelle des mots n'interfère pas avec le jugement de couleur chez le sujet normal est en contradiction avec l'hypothèse selon laquelle les informations

émotionnelles, principalement négatives, sont par nature évaluées de façon automatique (hypothèse d'automatisme de l'évaluation émotionnelle ; voir le chapitre 4). D'ailleurs, il est à noter que certains travaux ont pu mettre en évidence un effet de « Stroop émotionnel » chez le sujet sain (p.ex., McKenna & Sharma, 1995). Sur ce point, une série d'expériences menées par Sharma et McKenna (2001) nous semble critique pour expliquer pourquoi la plupart des expériences n'ont pas mis en évidence d'effet « Stroop émotionnel » chez le sujet normal. Ces auteurs (Expérience 2) ont démontré que l'intervalle inter-essais était déterminant dans l'observation de l'effet de « Stroop émotionnel ». Dans cette expérience, les auteurs ont manipulé ce qu'ils définissent comme la « pression temporelle (*Time pressure*) », opérationnalisée par la fréquence de présentation des stimuli. La manipulation expérimentale de l'intervalle inter-essais (32 ms vs 1000 ms) a ainsi permis à ces auteurs de mettre en évidence que l'effet de « Stroop émotionnel » varie selon la « pression temporelle ». Ainsi, ces auteurs ont pu mettre en évidence un effet « Stroop émotionnel » de 42 ms chez un groupe de participants sains dans la condition de délai court entre la réponse et l'apparition du mot suivant (i.e., intervalle inter-essais de 32 ms). En revanche, l'effet « Stroop émotionnel » n'était pas significatif dans la condition avec un délai long (i.e., intervalle inter-essais de 1000 ms).

Notons que dans notre procédure expérimentale l'intervalle inter-essais était long et que, puisque dans notre expérience un point de fixation de 500 ms précédait chaque mot, le délai entre chaque réponse et le mot suivant était de 1500 ms. Remarquons donc que, à la lumière des résultats obtenus par Sharma et McKenna (2001), les conditions expérimentales de notre étude n'étaient pas propices à l'observation d'un effet « Stroop émotionnel » chez le sujet sain. Dans notre étude, l'effet « Stroop émotionnel » attendu n'a d'ailleurs pas été obtenu dans l'analyse du groupe contrôle. De plus, aucun effet « Stroop émotionnel » pour les stimuli négatifs n'a été obtenu dans l'analyse par item de chaque participant contrôle. Cependant, malgré ces conditions, un effet « Stroop émotionnel » spécifique pour les mots positifs a été mis en évidence chez un participant contrôle, suggérant ainsi la possibilité d'une interférence de la valeur émotionnelle de mots avec le jugement de couleur chez l'individu sain dans une condition avec un intervalle inter-essais long. Cependant, il s'agit d'être prudent d'un point de vue statistique dans l'analyse de ce résultat : l'observation de cet effet n'était pas une hypothèse *a priori* et la significativité de nombreux effets a été testée, augmentant ainsi la probabilité d'obtenir par hasard un effet significatif. Notons tout de même que les conclusions de Sharma et McKenna (2001) concernant l'effet de l'intervalle inter-essais ne s'appliquent pas nécessairement aux mots positifs car ces auteurs ont restreint leurs stimuli émotionnels aux mots négatifs.

Le second débat guidant notre discussion concerne la possibilité d'observer un effet « Stroop émotionnel » pour les mots positifs. Peu de recherches utilisant le paradigme de « Stroop émotionnel » ont utilisé comme matériel expérimental des mots positifs (voir Williams et al., 1996 ; Sharma & McKenna, 2001 pour discussion) et, à notre connaissance, aucune étude n'a pu mettre en évidence un effet « Stroop émotionnel » pour les mots positifs chez un groupe de participants sains (à ce sujet, voir p.ex., McKenna & Sharma, 1995). En revanche, des études chez des populations cliniques ont pu mettre en évidence un effet « Stroop émotionnel » pour les mots positifs. Par exemple,

Becker, Rinck, Margraf, et Roth (2001) ont testé plusieurs populations cliniques et observé un effet « Stroop émotionnel » à la fois pour les mots positifs et négatifs chez leur groupe de patients anxieux. Mais, à notre connaissance, aucune étude n'a démontré d'effet « Stroop émotionnel » spécifique pour les mots positifs chez une population clinique. Dans ce contexte, les résultats de FC, ainsi que les résultats de la plupart des études, vont dans le sens de l'hypothèse d'une polarité-dépendance de certaines étapes du processus automatique d'évaluation émotionnelle.

En considérant ces débats, il nous semble qu'au moins deux interprétations divergentes des résultats obtenus dans cette expérience sont envisageables.

1) Continuum entre l'individu normal et FC dans l'évaluation : interprétation en termes d'une hyperévaluation chez FC

L'interférence des mots négatifs avec le jugement de couleur obtenue chez FC peut être interprétée comme révélant une tendance chez FC à *hyperévaluer* les stimuli négatifs. Cette tendance correspond à nos prédictions guidées par l'hyperperfusion amygdalienne de FC ainsi que par le rôle connu de l'amygdale dans l'évaluation automatique des stimuli négatifs. Cette interprétation en termes d'*hyperévaluation* chez FC postule l'existence d'une évaluation normale chez l'individu présentant une perfusion normale de l'amygdale. Or, bien que l'existence d'une telle évaluation (i.e., interférence) chez l'individu normal ait pu être mise en évidence dans certaines études, ceci n'a pas été le cas dans la présente expérience. Notons sur ce point que l'analyse de notre procédure expérimentale a révélé que le délai inter-essais utilisé dans notre étude n'était pas propice à démontrer l'existence d'une telle évaluation chez l'individu normal. Notons également que les résultats de l'étude d'imagerie cérébrale (TEP) de Isenberg et al. (1999) sont en faveur de l'hypothèse 1) d'un continuum entre l'individu normal et FC dans l'évaluation et 2) d'un rôle de l'amygdale dans cette évaluation. Ces auteurs ont testé l'hypothèse d'une activation de l'amygdale dans l'évaluation implicite de stimuli négatifs chez des participants sains en utilisant le paradigme de « Stroop émotionnel ». D'une part, les résultats obtenus par ces auteurs montrent un effet de « Stroop émotionnel » sur les temps de réponse (les participants sains jugeaient significativement plus lentement la couleur des mots négatifs que celle des mots neutres). Cet effet a été observé alors que le délai inter-stimuli était long (1000 ms) mais il faut remarquer que le mode de réponse du participant était verbal et non manuel, ce qui est un facteur important dans la tâche de Stroop (pour une discussion sur ce point, voir Sharma & McKenna, 2001). D'autre part, ces auteurs ont observé une perfusion bilatérale de l'amygdale supérieure pour les blocs au cours desquels les participants jugeaient la couleur des mots négatifs que pour les blocs au cours desquels les participants jugeaient la couleur des mots neutres. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent donc l'existence d'un continuum entre l'évaluation implicite chez l'individu normal et FC ainsi qu'une hyperévaluation chez FC. Cependant, il nous semble qu'une interprétation opposée proposant une discontinuité entre l'individu normal et FC peut être avancée.

2) Discontinuité entre l'individu normal et FC dans l'évaluation : interprétation en termes d'une pathologie émotionnelle chez FC.

Une seconde interprétation pourrait se baser sur les résultats typiques des études utilisant le paradigme de « Stroop émotionnel » dans le but d'évaluer les troubles émotionnels de populations pathologiques tels que l'anxiété, les crises de panique, les phobies, les troubles obsessionnels compulsifs, les troubles post-traumatiques et la dépression. Une tendance de ces études consiste à déterminer si des mots émotionnels négatifs particuliers *liés* à une pathologie donnée sont les seuls à générer un effet « Stroop émotionnel » spécifique chez les patients atteints de cette pathologie ou si, au contraire, ces patients présentent un effet « Stroop émotionnel » général pour tous les mots négatifs, voir aussi pour les mots positifs. Bien que l'établissement clair de cette distinction reste d'ordre empirique, certaines études proposent des éléments de réponse. Elles suggèrent que le test de certaines pathologies (p.ex., les phobies, Becker et al., 2001 ; voir aussi Williams et al., 1996) met en évidence l'existence d'un effet « Stroop émotionnel » spécifique alors que le test d'autres pathologies (p.ex., l'anxiété ; Becker et al., 2001) met en évidence l'existence d'un effet « Stroop émotionnel » général. Cependant, un consensus semble s'être dégagé sur le fait que ce sont les mots les plus sémantiquement liés à une pathologie donnée (p.ex., le mot « araignée » pour un patient arachnophobe) qui ont le plus fort potentiel d'interférence avec le jugement de couleur (voir Williams et al., 1996). L'interprétation d'une spécificité de l'effet pour la catégorie de mots liés à la pathologie s'inspire des théories de l'*appraisal*. Ainsi, cette interprétation suggère que l'existence d'un tel effet reflète la présence d'un désordre spécifique touchant les stimuli pour lesquels les patients marquent des « préoccupations (*concerns*) » particulières. Ainsi, il a été proposé que, chez un patient donné, la persistance de « ruminations » concernant les préoccupations particulières liées à sa pathologie puisse expliquer cet effet spécifique (voir Williams et al., 1996 ; voir aussi Bower, 1981). L'analyse de cet effet spécifique peut ainsi conduire à proposer que les biais attentionnels observés sont à la base des désordres spécifiques, les préoccupations étant des informations saillantes engagées dans un « cercle vicieux » attentionnel-mnésique. Ce cercle peut être décrit ainsi : la présence de troubles émotionnels chez un patient le conduit à attribuer une saillance anormalement élevée à certains stimuli, cette hyperattribution biaise elle-même l'attention portée à ces stimuli et ces stimuli renforcent les troubles émotionnels puisqu'ils sont saillants pour la pathologie. Selon cette interprétation, il nous semble que l'effet pourrait s'expliquer par la présence de ce « cercle vicieux » pathologique chez FC. De prime abord, cette interprétation semble incompatible avec l'observation par Becker et al. (2001) d'un effet « Stroop émotionnel » général pour les mots négatifs et positifs chez un groupe de patients anxieux. En fait, analyser les résultats selon cette interprétation permet de proposer qu'un mot émotionnel, quel que soit sa polarité, peut représenter un stimulus saillant pour le patient anxieux. En effet, les résultats obtenus par Mathews et Klug (1993) suggèrent que des mots positifs peuvent également activer des réseaux sémantiques liés à l'anxiété. Pour le montrer, ces auteurs ont réalisé une étude expérimentale manipulant la polarité des mots (négative vs positive) et leur lien avec l'anxiété (avec lien vs sans lien). Les résultats ont montré que les patients anxieux présentaient une interférence pour les mots liés à l'anxiété, que leur polarité soit négative (p.ex., « nerveux ») ou positive (p.ex., « confiant »), plus importante que pour les mots non liés.

Ainsi, une interprétation semblable à celle avancée pour expliquer l'effet obtenu chez

les patients pathologiques pourrait être avancée pour expliquer l'effet observé chez FC : l'existence du « cercle vicieux ». L'interférence observée chez FC (51 ms) est d'ailleurs très proche de l'interférence moyenne (48 ms) calculée par Williams et al. (1996) dans leur méta-analyse de 23 expériences utilisant des présentations tachitoscopiques ou informatiques chez des patients pathologiques. Cependant, rappelons que la liste expérimentale que nous avons utilisée ne prenait pas en compte le facteur « lien avec la pathologie », notamment parce qu'aucune pathologie n'a été décelée chez FC par l'équipe médicale. Les mots ont été choisis sur la base de leur polarité et non en lien avec les préoccupations (*concerns*) de FC.

Sur la base de ces interprétations, deux points de vue peuvent être présentés.

Le premier point de vue considère que le mécanisme de « cercle vicieux » évoqué plus haut est présent chez tous les individus, mais est exacerbé dans certaines pathologies mentales. Selon ce point de vue, nos résultats suggèrent que la liste de mots négatifs reflète les préoccupations de FC significativement plus que la liste de mots positifs. Ces résultats suggèrent également que la liste des mots négatifs n'était pas suffisamment en lien avec les préoccupations des participants contrôles pour générer une interférence dans le groupe contrôle. Le fait que les résultats des participants contrôles soient si hétérogènes renforce d'ailleurs cette suggestion. Ce premier point de vue est compatible avec notre première interprétation proposant un *continuum* entre l'évaluation chez le sujet sain et chez FC. De plus, ce point de vue présente l'intérêt de proposer un lien entre le processus psychologique d'*appraisal* et le mécanisme physiologique d'activation amygdalienne.

Le second point de vue, contrairement au premier, considère que le mécanisme de « cercle vicieux » évoqué plus haut n'est présent que chez les patients pathologiques. Dans ce contexte, l'effet « Stroop émotionnel » est interprété comme révélant un symptôme pathologique qui, par définition, ne doit pas être observé chez le sujet sain. Cette question rejoint le débat déjà entamé concernant la possibilité d'observer un effet « Stroop émotionnel » chez un groupe sain. Cette question mérite d'insister sur le fait statistique que, quel que soit l'effet étudié, « observer un effet significatif » vs « ne pas observer d'effet significatif » n'ont pas la même valeur inférentielle. Ainsi, le fait qu'un effet ne soit pas significatif ne doit, en aucun cas, être interprété comme la démonstration d'une absence d'effet. Par conséquent, les études qui ont mis en évidence un effet « Stroop émotionnel » chez le sujet sain ont une valeur empirique qui n'est pas comparable à celle des études qui n'ont pas mis en évidence un tel effet. Ce problème est soulevé ici car il nous semble qu'un risque se dessine concernant l'utilisation de la tâche de « Stroop émotionnel » en clinique. L'utilisation de cette tâche comme outil de dépistage de pathologies postule en effet que le sujet normal ne présente pas d'effet de « Stroop émotionnel », or certaines études ont démontré ce type d'effet (p.ex., Sharma & McKenna, 2001). De plus, comme exposé plus haut, des considérations d'ordre méthodologique pourraient expliquer pourquoi la plupart des études n'ont pas observé d'effet. La dichotomie considérée par ce second point de vue,

entre « une population saine qui ne présente pas d'effet » et « une population pathologique qui présente un effet, que celui-ci soit général ou spécifique » suggère que FC présente un trouble émotionnel qualitatif de type pathologique. La proposition d'une telle discontinuité entre FC et les participants contrôles s'inscrit dans le débat consistant à établir si la frontière entre le pathologique et le normal est une séparation de *nature* ou de *degré*. En considérant les résultats chez le sujet normal et sans s'investir dans ce débat, il nous semble qu'aucune règle générale ne prévaut et que, dans le cas qui nous intéresse ici, l'existence d'un mécanisme fonctionnel équivalent au « cercle vicieux » ne peut être exclue chez le sujet normal. Le fait que l'interférence obtenue par Sharma et McKenna (2001, expérience 2) chez le sujet sain (42 ms) soit proche de celle observée chez FC (51 ms) ainsi que de celle calculée par Williams et al. (1996) dans leur méta-analyse (48 ms) suggère d'ailleurs plutôt l'existence d'un mécanisme non spécifique à la pathologie. Cependant, aucun argument disponible à notre connaissance ne permet de départager entre ces deux points de vue dans l'interprétation de l'effet « Stroop émotionnel ».

Il nous semble tout de même que certains résultats permettraient de départager l'interprétation de « continuité » et celle de « discontinuité ». En effet, un argument déterminant favorable à l'hypothèse de continuité serait d'observer, avec une même liste de mots, 1) un effet « Stroop émotionnel » significatif chez FC, 2) un effet « Stroop émotionnel » significatif, allant dans le même sens, chez les participants contrôles et 3) que l'effet soit significativement supérieur chez FC que chez les participants contrôles. Cette proposition, qui reste une question empirique, peut être considérée comme la « symétrique » des résultats obtenus par Anderson et Phelps (2001). En effet, ces auteurs ont démontré, avec un paradigme de clignement attentionnel, une facilitation dans l'identification des stimuli négatifs chez un groupe de participants sains, mais pas chez leur patient ayant une lésion bilatérale de l'amygdale. De plus, ces auteurs ont observé que les performances des patients (ayant une lésion amygdalienne bilatérale ou gauche) étaient significativement inférieures à celles des sujets contrôles. Ainsi, un argument déterminant soutenant l'hypothèse de continuité consisterait à montrer, pour une même tâche impliquant une évaluation de stimuli émotionnels, que les performances d'un patient ayant une lésion bilatérale de l'amygdale sont significativement inférieures à celles des participants contrôles qui, eux-mêmes, présentent des performances inférieures à celles d'un patient ayant une hyperactivation de l'amygdale. De tels résultats sont d'ailleurs attendus si l'on considère 1) le principe selon lequel l'individu sain évalue automatiquement certains stimuli émotionnels avec une implication de l'amygdale (voir la contrainte CN3) et 2) le principe selon lequel cette évaluation produit une interruption des traitements cognitifs en cours, générant ainsi une interférence avec toute tâche non pertinente dans le traitement de ces stimuli saillants (voir la contrainte CF5).

Dans l'ensemble, il nous semble que les résultats obtenus dans cette expérience sont en faveur de (i) l'hypothèse de l'existence d'une évaluation implicite de certains stimuli émotionnels, y compris lexicaux, (ii) l'hypothèse d'une implication de l'amygdale dans ce type d'évaluation et (iii) l'hypothèse d'une polarité-dépendance de l'amygdale et de certaines étapes du processus évaluatif.

Expérience 4 : Dissociations intra- et inter-patients

Les patients DT et NG ont été testés dans le cadre d'une collaboration avec le Docteur Catherine Thomas-Antérion et le Professeur Bernard Laurent (Service de Neurologie, CHU Bellevue, Saint-Etienne).

Une série d'expériences impliquant des patients ayant une lésion cérébrale focale visait à déterminer si des sous-systèmes impliqués dans l'évaluation de stimuli chargés positivement peuvent être atteints indépendamment de sous-systèmes impliqués dans l'évaluation de stimuli chargés négativement, et réciproquement. En outre, le fait d'utiliser également le paradigme des bordures nous a permis de rechercher des doubles dissociations à la fois dans le contexte d'une évaluation explicite et dans celui d'une évaluation implicite. Parmi l'ensemble des patients cérébrolésés testés, l'étude plus particulière des patients DT et NG a permis de mettre en évidence deux types de dissociations : inter-patients et intra-patients.

Les deux patients, ainsi qu'un groupe de participants sains, ont été testés dans une condition pour laquelle l'évaluation était implicite (tâche de jugement de bordures) puis dans une condition pour laquelle l'évaluation était explicite (tâche de jugement hédonique).

Evaluation explicite chez les patients DT et NG

Méthode

Participants

Les patients DT et NG ainsi qu'un groupe de sujets sains ont participé à cette étude. Le groupe de sujets sains était composé de 12 participants masculins (âge moyen : 40 ans, ET : 9,3; nombre d'années d'études moyen à partir du CP : 9,9, ET : 2,2). Ces sujets sains étaient également inclus dans le groupe contrôle utilisé pour l'Expérience 3.

Patient DT

DT, né en 1949, était âgé de 51 ans lorsque nous l'avons testé. Il a exercé en tant que boulanger (nombre d'années d'études à partir du CP : 9) jusqu'à son accident neurologique. Ce patient gaucher est suivi depuis 1997 au service de Neurologie de l'Hôpital Bellevue de Saint-Etienne suite à un hématome du carrefour occipito-pariéto-temporal droit. Son principal trouble non émotionnel consiste en une aphasie croisée (bilan de décembre 2000). Notons que cette aphasie induite par une lésion droite est cohérente avec le fait que DT ait une latéralité manuelle à gauche et nous interdira de proposer une interprétation de ses troubles émotionnels en termes d'une asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels.

En consultation, les plaintes de DT relatives à ses troubles émotionnels sont marquées. Le patient et son épouse se plaignent d'une indifférence affective chez DT. Le patient est conscient de ses troubles et se décrit lui-même comme ayant un esprit vide, comme n'étant touché par rien et ne ressentant plus de sentiments. Les modifications comportementales et émotionnelles contrastent fortement avec la personnalité de DT avant la lésion. Ce patient décrit actuellement un « manque affectif » pour les émotions tant positives que négatives. Ainsi il nous rapporte que ni la naissance de son petit-fils ni la mort d'un ami dans ses bras ne lui ont provoqué l'émotion attendue. DT semble savoir quelles émotions il aurait dû ressentir et regrette ne pas avoir été capable de les ressentir. Cette absence de conformité entre les émotions attendues normalement et le comportement de DT s'observe également à l'autre extrême : son épouse et lui-même rapportent que DT fait preuve de crises de violence en parole et en acte qui ne semblent pas motivées. Il est fréquent que DT prenne conscience du caractère anormal de ses crises de violence, notamment lorsqu'elles sont dirigées vers son épouse : ses regrets le conduisent à pleurer.

Patiente NG

La patiente NG présente un site lésionnel et un tableau clinique différents de ceux de DT.

NG, née en 1975, était âgée de 25 ans lorsque nous l'avons testée. Elle est diplômée d'un BEP secrétariat (nombre d'années d'études à partir du CP : 9). Cette patiente ambidextre a subi une amygdalo-hippocampectomie subtotale droite dans le cadre d'une chirurgie de l'épilepsie et était suivie au Service de Neurologie à l'Hôpital Bellevue de Saint-Etienne. Son principal trouble non émotionnel consiste en un léger déficit de la Mémoire de Travail. Notons que le fait que NG soit épileptique depuis l'enfance et, de surcroît, ambidextre, nous interdira également de proposer une interprétation de ses troubles émotionnels en termes d'une asymétrie hémisphérique des mécanismes émotionnels.

En consultation, les plaintes de NG sont principalement de deux types : (i) des troubles légers de l'équilibre accompagnés de sensations de vertige et (ii) des troubles émotionnels. Sur le plan émotionnel, ses plaintes sont centrées sur une perte du contrôle. Plus particulièrement, certains sons, notamment la voix de certaines personnes et les cris d'enfants, déclenchent en elle une émotion irrépressible proche de la colère. Elle rapporte avoir développé une stratégie d'imagerie mentale pour se calmer. Par exemple, si elle entend un enfant crier trop longtemps, le fait de se représenter elle-même en train de l'étouffer pour l'empêcher de crier lui permet de se calmer. D'autre part, NG rit et pleure exagérément mais de façon adaptée à la situation.

Matériel

Le logiciel *MacLab 2.0* a été utilisé pour la présentation des stimuli et les temps de réponse ont été enregistrés directement sur un ordinateur portable Macintosh iBook. Les participants répondaient à l'aide d'un clavier connecté à l'ordinateur en tant que périphérique externe.

Stimuli

Des photographies positives et négatives provenant de l'International Affective Picture System (IAPS ; Lang & Greenwald, 1993) ont été utilisées. Pour chaque photographie de l'IAPS, des valeurs de valence et d'intensité (*arousal*) ont été attribuées sur la base d'un prétest (voir Lang & Greenwald, 1993). Les stimuli utilisés dans notre expérience ont été sélectionnés selon ces valeurs. Ces stimuli ont été constitués de sorte que la valeur moyenne des photographies négatives et celle des photographies positives s'écartent de la neutralité d'une distance équivalente. La neutralité était fixée à 5 sur une échelle hédonique allant de 1 (très négatif) à 9 (très positif). De plus, le facteur « intensité » a été contrôlé (voir Expérience 2). Ainsi, les stimuli ont été constitués de sorte que l'intensité moyenne soit équivalente pour les stimuli négatifs et positifs. Ainsi, les stimuli émotionnels se répartissaient en 64 photographies négatives (valence moyenne : 3,3, ET : 0,59 ; intensité moyenne : 5,2, ET : 0,39) et 64 photographies positives (valence moyenne : 7,3, ET : 0,46 ; intensité moyenne : 4,8, ET : 0,42). Sur chaque photographie, une bordure inférieure et une bordure supérieure ont été ajoutées selon la procédure décrite dans l'Expérience 1. Comme présenté dans la figure 5.1 (voir Expérience 1), les bordures inférieure et supérieure pouvaient être soit identiques soit différentes. Ainsi, quatre configurations par polarité émotionnelle ont été obtenues : deux configurations ayant des bordures identiques et deux configurations ayant des bordures différentes.

Notons que ces stimuli étaient également répartis selon le facteur composante sociale : dans la base de données de l'IAPS, des photographies émotionnelles à caractère social ou non ont été sélectionnées (voir la section « stimuli » de l'Expérience 5). Une telle répartition était motivée par une hypothèse particulière concernant les patients schizophrènes (Expérience 5). Pour permettre une éventuelle comparaison, le même ensemble de stimuli a été utilisé dans nos études chez les patients cérébrolésés ayant une lésion focale identifiée et chez les patients schizophrènes.

Procédure

Les patients ainsi que les participants sains ont été testés individuellement. La session expérimentale débutait par une phase d'entraînement durant laquelle les participants répondaient à une suite de 50 essais. Chaque essai était constitué d'un point de fixation (+) présenté 500 ms et suivi du mot « agréable » ou du mot « désagréable » présenté jusqu'à la réponse du participant. Les essais étaient présentés en champ visuel central dans un ordre pseudo-aléatoire contrôlé de sorte que jamais plus de 4 stimuli identiques ne se suivaient. Durant cette phase, il était demandé aux participants d'appuyer sur la touche « B » du clavier lorsque le mot « agréable » apparaissait et sur la touche « N » du clavier lorsque le mot « désagréable » apparaissait. Cette phase d'entraînement avait pour but de s'assurer d'un bon apprentissage associatif entre le type de réponse attendu et la touche de réponse.

Après la série d'entraînement, les participants s'engageaient dans la session expérimentale. Il leur était demandé de juger le plus rapidement et le plus justement possible si les photographies étaient agréables ou désagréables. Jamais plus de quatre

stimuli ayant une même propriété (polarité, configuration des bordures) n'étaient présentés successivement.

Chaque essai débutait par un point de fixation d'une durée de 1000 ms suivi du stimulus jusqu'à la réponse du participant. L'essai se clôturait par un écran blanc de 1000 ms.

Résultats

Deux types d'analyse de la variance ont été effectués. D'une part, une analyse de groupe a été réalisée pour le groupe de participant sains. D'autre part, une analyse par item a été effectuée pour les patients. Notons que pour toutes les analyses qui suivent, les effets non présentés n'étaient pas significatifs ($p > .05$ dans tous les cas).

Analyse du groupe contrôle

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les temps de réponse moyens par sujet avec la polarité (Négative ou Positive) comme facteur. Avant de calculer la moyenne, les essais pour lesquels chaque participant avait commis une erreur étaient exclus (en moyenne 10% d'erreurs). De plus, un élagage a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque participant et pour chaque cellule, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à 2,5 fois la moyenne était remplacé par la moyenne (en moyenne, 0,7% des temps de réponse ont été remplacés).

Comme cela est présenté dans la figure 6.3, cette analyse a révélé que les participants répondaient plus lentement aux stimuli négatifs (981 ms) qu'aux stimuli positifs (852 ms), $F(1, 11) = 19.6, p < .001$.

Analyse du nombre de bonnes réponses

Une ANOVA a également été réalisée sur le nombre de bonnes réponses par sujet avec la polarité (Négative ou Positive) comme facteur.

Cette analyse a révélé que les participants sains ont commis plus d'erreurs pour les stimuli négatifs (14,2%) que pour les stimuli positifs (5,6%), $F(1, 11) = 10.7, p < .01$.

Analyse de cas (patients DT et NG)

Pour chaque patient, une analyse de variance (ANOVA) par item a été réalisée sur les temps de réponse avec la valeur émotionnelle (Négative ou Positive) comme facteur. Avant de calculer la moyenne, les essais pour lesquels un patient avait commis une erreur ont été exclus. Ainsi, 9,4% des essais pour DT et 5,4% pour NG ont été exclus de l'analyse. De plus, un élagage a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque polarité, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à 2,5 fois la moyenne était remplacé par la moyenne. Ainsi, 8,6%

des temps de réponse ont été remplacés chez DT et 1,6% chez NG.

Comme cela est présenté dans la figure 6.3, ces analyses ont révélé que DT répondait plus lentement pour les stimuli négatifs (1943 ms) que pour les stimuli positifs (1274 ms), $F(1, 114) = 35.4, p < .0001$. En revanche, NG répondait plus rapidement pour les stimuli négatifs (807 ms) que pour les stimuli positifs (957 ms), $F(1, 119) = 8.1, p < .006$.

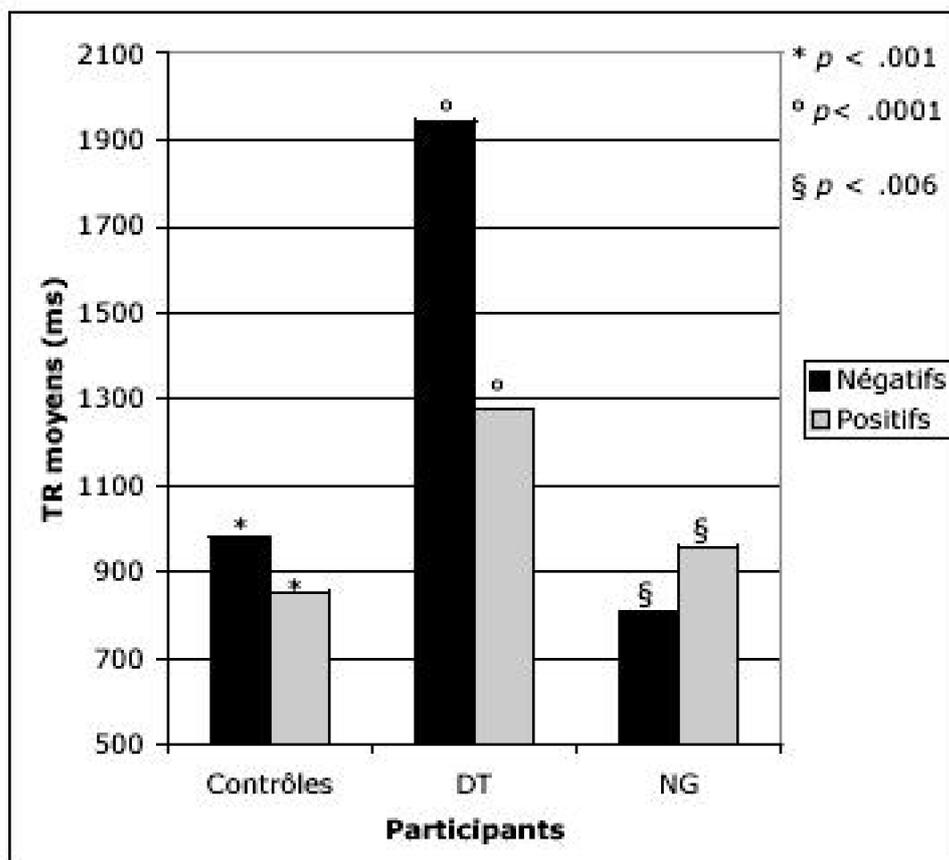


Fig.6.3 Temps de réponse moyens aux stimuli négatifs et positifs pour le groupe de participants contrôles et pour les patients DT et NG dans la condition d'évaluation explicite.

Discussion

L'effet du facteur polarité sur les temps de réponse et sur le nombre de bonnes réponses observé chez le groupe de participants sains réplique les résultats obtenus à l'Expérience 1.1 : les participants évaluaient plus lentement et moins justement les stimuli négatifs que les stimuli positifs. Ainsi, le groupe de participants sains présentait le biais de négativité attendu sur les temps de réponse.

DT présentait, à l'instar des sujets sains, un biais de négativité pour les temps de réponse. Ce résultat est particulièrement intéressant compte tenu des plaintes cliniques exprimées par DT. En effet, ce résultat démontre que malgré ses plaintes concernant une absence d'émotions et une anhédonie, ce patient est capable d'évaluer les stimuli émotionnels et réagit normalement à l'asymétrie fonctionnelle des stimuli négatifs et

positifs dans le cadre d'une évaluation explicite (i.e., le biais de négativité ; voir la discussion de l'Expérience 1.1).

En revanche, NG ne présentait pas de biais de négativité mais plutôt un « biais de positivité » pour les temps de réponse puisqu'elle évaluait plus lentement les stimuli positifs que les stimuli négatifs. Cette dissociation suggère que des mécanismes impliqués dans l'évaluation explicite des stimuli négatifs et positifs sont susceptibles d'être lésés différemment. Par conséquent, les résultats obtenus confortent l'hypothèse de polarité.

Evaluation implicite chez les patients DT et NG

Cette condition expérimentale a été proposée aux patients dans l'objectif de rechercher des dissociations entre les mécanismes impliqués dans l'évaluation explicite et ceux impliqués dans l'évaluation implicite. Une telle recherche est notamment motivée par les résultats de l'étude en IRMf suggérant qu'un réseau spécialisé est impliqué dans l'évaluation explicite (voir Expérience 2).

Méthode

Participants

Les participants étaient ceux ayant participé à la condition d'évaluation explicite.

Matériel

Le matériel était identique à celui utilisé dans la condition d'évaluation explicite.

Stimuli

Les stimuli étaient identiques à ceux utilisés dans la condition d'évaluation explicite.

Procédure

Les participants ont pris part à cette condition avant de prendre part à la condition d'évaluation explicite. Notons qu'un intervalle temporel de six mois séparait la passation de ces deux conditions pour les deux patients. Les participants sains ont pris part aux deux conditions l'une à la suite de l'autre. La procédure expérimentale était identique à celle utilisée dans la condition d'évaluation explicite, à l'exception de ce qui concerne la tâche et des stimuli utilisés dans la phase d'entraînement. La tâche des participants était de juger le plus rapidement et le plus justement possible si les bordures supérieure et inférieure étaient identiques ou différentes. Par conséquent, les mots « même » et « différent » ont remplacé les mots « agréable » et « désagréable » dans la phase d'entraînement.

Résultats

Les mêmes analyses que celles appliquées aux résultats de la condition d'évaluation explicite ont été utilisées pour analyser les résultats de cette condition.

Analyse du groupe contrôle

Analyse des temps de réponse

Comme pour la condition d'évaluation explicite, les essais pour lesquels chaque participant avait commis une erreur étaient exclus (en moyenne 4% des essais). En outre, l'élagage a conduit à remplacer 0,2% des temps de réponse.

Cette analyse a révélé que l'effet simple du facteur configuration des bordures était significatif. Les participants ont répondu plus rapidement lorsque les bordures étaient identiques (1091 ms) que lorsqu'elles étaient différentes (1168 ms), $F(1, 11) = 31.2$, $p < .0003$.

Analyse du nombre de bonnes réponses

Les participants ont commis plus d'erreurs lorsque les stimuli étaient positifs (5,1%) que lorsqu'ils étaient négatifs (2,9%), $F(1, 11) = 8.6$, $p < .02$.

Analyse de cas (patients DT et NG)

Comme pour la condition d'évaluation explicite, les essais pour lesquels une erreur avait été commise étaient exclus (11,7% des essais pour DT et 1,6% pour NG). En outre, l'élagage a conduit à remplacer 3,5% des temps de réponse pour DT et 0,8% pour NG.

Comme cela est présenté dans la figure 6.4, l'analyse des résultats a révélé que DT répondait plus rapidement lorsque les stimuli étaient négatifs (2445 ms) que lorsqu'ils étaient positifs (2920 ms), $F(1, 109) = 5.5$, $p < .03$. En revanche, NG répondait plus lentement lorsque les stimuli étaient négatifs (2563 ms) que lorsqu'ils étaient positifs (1836 ms), $F(1, 110) = 41.8$, $p < .0001$.

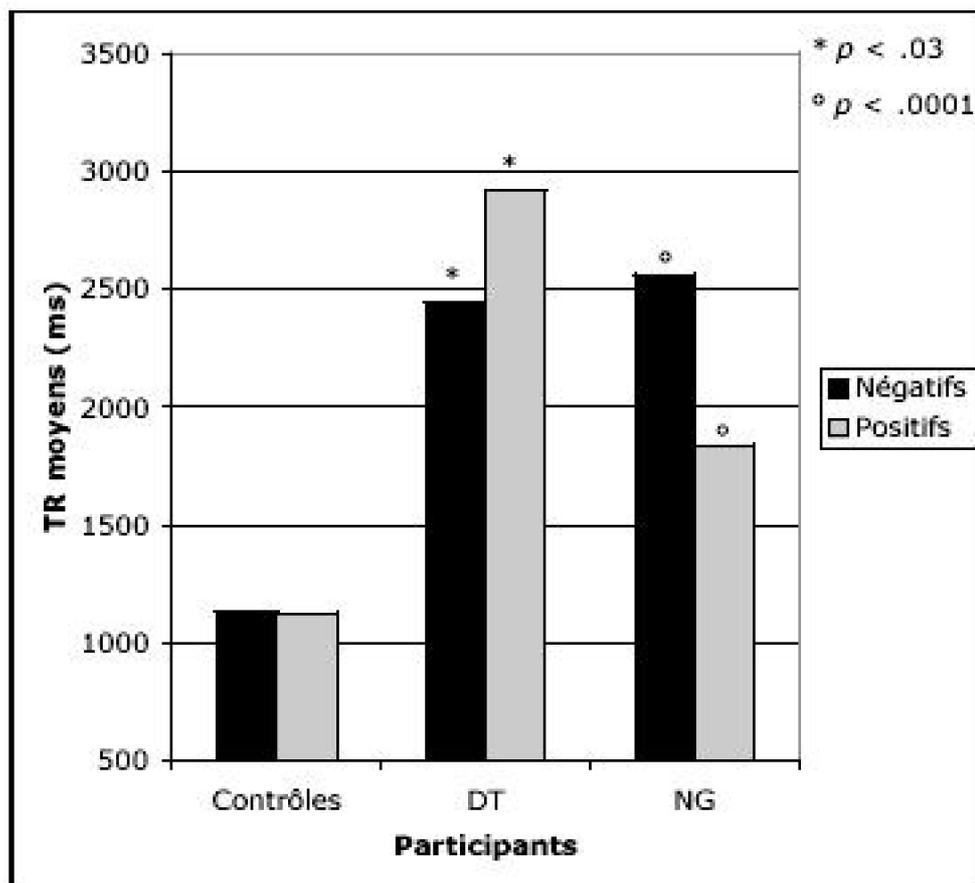


Fig. 6.4 Temps de réponse moyens aux stimuli négatifs et positifs pour le groupe de participants contrôles et pour les patients DT et NG dans la condition d'évaluation implicite.

Discussion

L'effet du facteur polarité sur les temps de réponse n'était pas significatif ; ce phénomène avait déjà été observé avec la même tâche et les mêmes bordures, mais des stimuli différents, dans l'Expérience 1.2. Le fait d'avoir obtenu un effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses indique que les participants sains ont évalué les stimuli de façon implicite.

En outre, le fait que l'effet du facteur polarité soit significatif chez DT et NG suggère que ces patients ont également évalué les stimuli de façon implicite.

Le résultat indiquant que NG répondait plus lentement lorsque les stimuli étaient négatifs que lorsqu'ils étaient positifs est cohérent avec les plaintes de cette patiente concernant sa propension à traiter de façon incontrôlée les stimuli négatifs.

En revanche, DT ne présentait pas de biais de négativité mais plutôt un « biais de positivité » pour les temps de réponse puisqu'il évaluait plus lentement les stimuli positifs que les stimuli négatifs. Cette dissociation suggère que des mécanismes impliqués dans l'évaluation implicite des stimuli négatifs et positifs peuvent être lésés différemment. Ainsi, les résultats obtenus dans la condition d'évaluation implicite confortent également l'hypothèse de polarité.

Discussion générale de l'Expérience 4

Les résultats obtenus dans cette étude sont, à notre connaissance, les premiers à mettre en évidence des dissociations inter et intra-patients dans l'évaluation explicite et implicite.

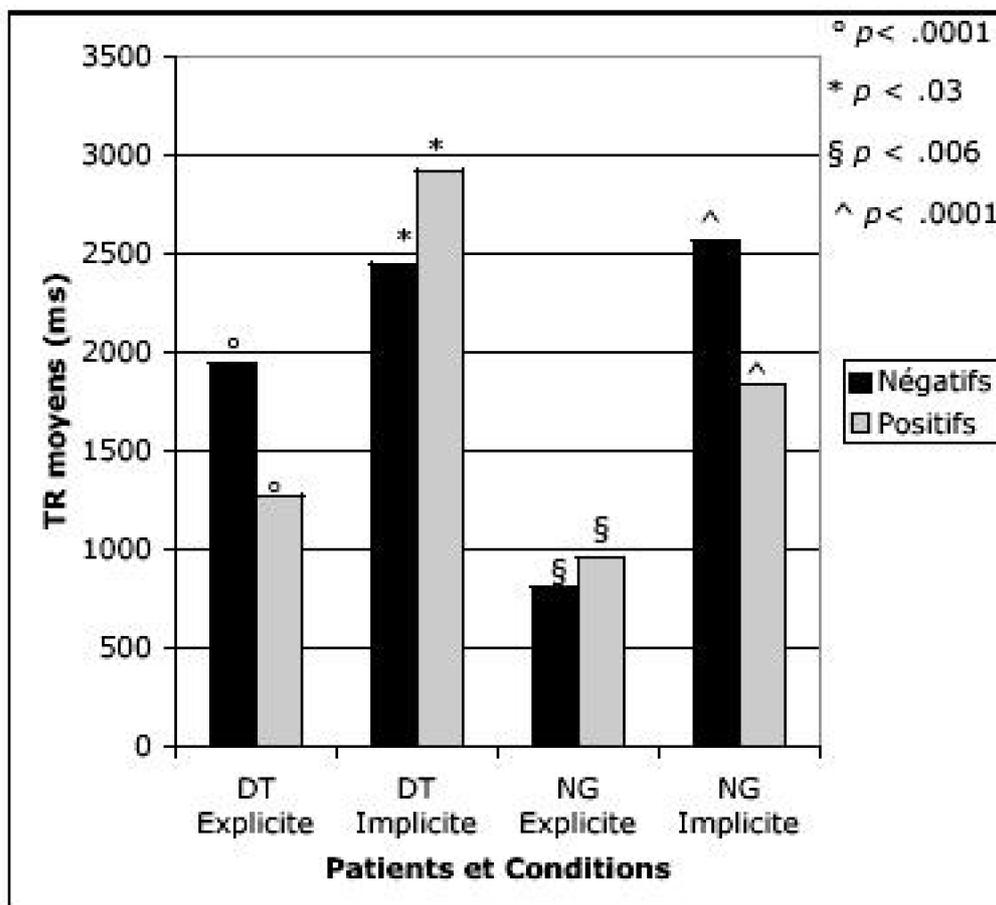


Fig.6.5 Représentation récapitulative des dissociations inter- et intra-patients dans l'évaluation explicite et implicite des stimuli négatifs et positifs.

Comme cela est illustré dans la figure 6.5, alors que DT répondait plus lentement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était explicite, ce patient répondait plus rapidement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était implicite.

En revanche, alors que NG répondait plus rapidement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était explicite, cette patiente répondait plus lentement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était implicite.

Par conséquent, les dissociations inter-patients, à la fois dans la condition d'évaluation explicite (voir Fig. 6.3) et dans la condition d'évaluation implicite (voir Fig. 6.4), indiquent que des sous-systèmes polarité-dépendants peuvent être endommagés différemment. Un tel résultat est en faveur de l'hypothèse de polarité dans l'évaluation explicite ainsi que dans l'évaluation implicite.

De plus, les dissociations intra-patients observées (Fig. 6.5) suggèrent que ce n'est pas le même ensemble de sous-systèmes émotionnels qui est engagé dans l'évaluation implicite et dans l'évaluation explicite des stimuli émotionnels. Ce résultat est d'ailleurs cohérent avec les résultats obtenus en IRMf révélant un réseau spécialisé dans l'évaluation explicite. Le fait que DT soit gaucher et que NG soit épileptique depuis l'enfance et ambidextre nous interdit toutefois toute conclusion d'ordre anatomo-fonctionnel.

Expérience 5 : Troubles de l'évaluation émotionnelle dans la schizophrénie

Un groupe de patients schizophrènes a été testé dans le cadre d'une collaboration avec le Docteur Nicolas Franck et le Professeur Nicolas Georgieff (Centre Hospitalier Le Vinatier, Lyon ; et Institut des Sciences Cognitives, Lyon).

La schizophrénie est une psychopathologie qui constitue une voie d'accès privilégiée à l'étude des émotions car nombre de dysfonctionnements schizophréniques s'expriment par des désordres de nature émotionnelle (p. ex., l'athymormie et l'anhédonie ; voir Loas, Boyer & Legrand, 1999).

L'étude de la détérioration de certains composants du système émotionnel dans la schizophrénie a été envisagée ici dans une approche de neuropsychologie cognitive. Si le système émotionnel n'est pas unitaire mais différencié, comme nous en faisons l'hypothèse, il est alors possible que dans la schizophrénie certains sous-systèmes émotionnels soient dysfonctionnels alors que d'autres préservent leur intégrité.

Andreasen (1999) a proposé que la définition de la schizophrénie soit fondée sur l'identification de troubles cognitifs basiques plutôt que sur la phénoménologie. Selon cet auteur, le phénotype apparemment hétérogène de la schizophrénie serait le mieux défini par un concept central unificateur : un déficit cognitif fondamental qui émergerait d'anormalités dans les circuits neuronaux. Andreasen précise que dans ce contexte, le terme « cognitif » est utilisé dans son acception large et se réfère « à la fois aux composants rationnels et émotionnels de l'activité mentale. » La perspective adoptée ici s'inscrit dans une démarche consistant à rechercher des dissociations de sous-systèmes permettant d'identifier un déficit fondamental de certains mécanismes émotionnels qui pourrait entraîner l'apparition de symptômes schizophréniques.

Différents aspects du système émotionnel des patients schizophrènes ont été l'objet de recherches. Ainsi, l'existence d'une relation anormale entre expression et expérience émotionnelle a été proposée. En effet, le fait que les participants schizophrènes rapportent avoir une expérience émotionnelle semblable à celle rapportée par des sujets contrôles (p.ex., Taylor, Liberzon, Decker & Koeppel, sous presse) contraste avec un déficit de l'expression faciale par rapport à celle observée chez des sujets contrôles (Berenbaum & Oltmans, 1992 ; Kring et al., 1993 ; Kring & Neale, 1996).

De plus, les schizophrènes semblent présenter un déficit dans l'évaluation des informations émotionnelles transmises par le visage, la prosodie ou la posture corporelle (p.ex., Bell, Bryson, & Lysaker, 1997 ; Cramer, Weegman, & O'Neil, 1989 ; Mandal et al., 1999). En effet, un biais de positivité a été observé, reflétant une tendance à évaluer les stimuli comme étant plus agréables qu'ils ne le sont et suggérant un trouble dans le traitement de la dimension désagréable des stimuli (voir Curtis et al., 1999). Ce biais de positivité a également été retrouvé lors de la reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles (Mandal et al., 1999). D'autre part, il a été proposé que les schizophrènes jugent les émotions négatives comme moins négatives qu'elles ne le sont (Bellack, Mueser Wade, Sayers, & Morrison, 1992) et ont un déficit différentiel de la reconnaissance des émotions négatives (p.ex, Bell et al., 1997).

Ce trouble de l'évaluation des stimuli négatifs dans la schizophrénie peut être mis en parallèle avec les troubles consécutifs à une lésion bilatérale amygdalienne. Adolphs et Tranel (1999) ont montré qu'une patiente ayant une lésion bilatérale de l'amygdale (la patiente SM) présentait un trouble d'évaluation des stimuli résultant dans l'existence d'un biais de positivité. De plus, cette patiente était déficitaire dans le traitement des stimuli liés à la peur (Adolphs et al., 1995 ; voir aussi Sprengelmeyer et al., 1999). Des résultats d'imagerie cérébrale convergent pour indiquer un trouble fonctionnel de l'amygdale dans la schizophrénie. Ainsi, Schneider et al. (1998) ont utilisé, en IRMf, une méthode d'induction par expressions faciales émotionnelles chez des participants normaux et des patients schizophrènes. Alors que les participants normaux ont présenté une activation amygdalienne induite par l'émotion de tristesse, les patients schizophrènes n'ont pas présenté une telle activation. A un niveau plus spécifique, Phillips et al. (1999) ont montré que les schizophrènes non-paranoïdes avaient tendance à catégoriser l'expression émotionnelle de dégoût comme étant soit de la peur soit de la colère. De façon cohérente, ces auteurs ont montré en IRMf une activation de l'amygdale pour la reconnaissance du dégoût chez les schizophrènes non-paranoïdes, alors que chez le sujet normal cette structure est considérée comme plutôt impliquée dans la peur que dans le dégoût (voir CC 10 ; Calder, Lawrence, & Young, 2001). Récemment, en utilisant la TEP, Taylor, Liberzon, Decker, et Koeppe (sous presse) ont étudié l'activation cérébrale induite par la présentation de photographies émotionnelles aversives et non aversives ainsi que d'écrans blancs chez des patients schizophrènes et des participants sains. Les résultats de cette étude ont indiqué que les participants sains présentaient une activation bilatérale amygdalienne plus importante dans la condition de visualisation de photographies émotionnelles non aversives que dans la condition de visualisation d'écrans blancs. En revanche, les patients schizophrènes ne présentaient pas une telle activation amygdalienne.

Peu d'études se sont intéressées à la schizophrénie en tant psychopathologie permettant de tester l'hypothèse de polarité. Pourtant, comme l'expliquent Silver, Shlomo, Turner, & Gur (2002, p.176), « ***Better understanding of the valence-related differences in perception of emotion may help explain why some emotions appear more impaired than others in patients with schizophrenia and their variability in response to emotional stimuli.*** » Dans une étude visant à déterminer si la schizophrénie est une pathologie dans laquelle les traitements des stimuli négatifs et positifs sont

différentiellement atteints, ces auteurs ont observé que, chez des patients schizophrènes, les performances à des tests d'identification d'expressions faciales positives (joie) étaient corrélées aux performances à des tests cognitifs et moteurs, alors que leurs performances à des tests d'identification d'expressions faciales négatives n'étaient pas corrélées aux performances à ces tests. Ces auteurs ont interprété l'asymétrie des résultats comme indiquant l'existence de systèmes évaluatifs séparés pour les stimuli négatifs et positifs, allant ainsi dans le sens de l'hypothèse de polarité.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude comportementale était de déterminer si, dans la schizophrénie, certains mécanismes impliqués dans l'évaluation d'événements d'une polarité donnée pouvaient être déficitaires alors que les mécanismes impliqués dans l'évaluation d'événements de l'autre polarité seraient préservés. Une variable supplémentaire qui pourrait se révéler déterminante dans l'analyse des troubles de ces patients est la composante sociale (voir Bell et al., 1997). Dans le but de déterminer si, chez le patient schizophrène et/ou le sujet normal, l'effet du facteur polarité peut varier selon cette composante, la variable « composante sociale des stimuli » a été manipulée. Ainsi, la moitié des photographies utilisées représentait des scènes sociales, alors que l'autre moitié représentait des scènes non sociales.

En outre, le fait d'utiliser également le paradigme des bordures nous a permis de rechercher une dissociation à la fois dans le contexte d'une évaluation explicite et dans celui d'une évaluation implicite.

La logique expérimentale était de rechercher une interaction des facteurs polarité (négative ou positive) et participants (schizophrènes ou contrôles). D'autre part, considérant l'importance potentielle du facteur composante sociale, une interaction triple des facteurs polarité, composante sociale et participants était également recherchée.

Evaluation explicite

Méthode

Participants

Un groupe de 12 patients schizophrènes ainsi qu'un groupe de 12 sujets sains ont participé à cette étude.

Parmi les 12 patients, 3 ont été exclus car ils n'ont pas compris la consigne ou ont arrêté l'expérience en cours. Ainsi, le groupe de patients était composé de 9 schizophrènes (âge moyen : 40,5 ans, ET : 9,9 ; nombre d'années d'études moyen à partir du CP : 9,5, ET : 2,9 ; score moyen S.A.P.S. : 34,5, ET : 19 ; score moyen S.A.N.S. : 40,5, ET : 21).

Le groupe contrôle d'individus sains était composé de 12 participants masculins (âge moyen : 40 ans, ET : 9,3; nombre d'années d'études moyen à partir du CP : 9,9, ET : 2,2). Il s'agissait des participants du groupe contrôle de l'Expérience 4.

Matériel

Le logiciel *MacLab 2.0.* a été utilisé pour la présentation des stimuli et les temps de réponse ont été enregistrés directement avec l'ordinateur portable Macintosh iBook. Les participants répondaient à l'aide d'un clavier connecté à l'ordinateur en tant que périphérique externe.

Stimuli

Les stimuli utilisés étaient ceux de l'Expérience 4. Ces stimuli avaient été sélectionnés sur la base de leur polarité et le facteur intensité avait été contrôlé (voir section *stimuli* de l'Expérience 4). La composante sociale du stimulus émotionnel a été considérée comme un facteur pertinent dans le but de dissocier les processus impliqués dans l'évaluation de stimuli négatifs de ceux impliqués dans l'évaluation de stimuli positifs. Ce facteur a été opérationnalisé en sélectionnant dans la base de données de l'IAPS des photographies émotionnelles à caractère social ou non. Un critère fondamental était que toutes les photographies sociales contenaient systématiquement au moins un être humain (p.ex., scène de mariage ou d'enterrement) alors que les photographies non sociales n'en contenaient jamais (photographies d'animaux et de paysages).

Ainsi, les stimuli émotionnels se répartissaient en 32 photographies négatives sociales (valence moyenne :3, ET : 0,63 ; intensité moyenne :5,15, ET : 0,38), 32 photographies négatives non sociales (valence moyenne : 3,55, ET : 0,55 ; intensité moyenne : 5,3, ET : 0,4), 32 photographies positives sociales (valence moyenne : 7,46, ET : 0,38 ; intensité moyenne :4,9, ET : 0,4) et 32 photographies positives non sociales (valence moyenne : 7,26, ET : 0,55 ; intensité moyenne : 4,75, ET : 0,44).

Procédure

La procédure expérimentale était identique à celle utilisée dans la condition d'évaluation explicite de l'Expérience 4.

Résultats

Analyse des temps de réponse

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les temps de réponse moyens par sujet avec la polarité (négative ou positive) et la composante sociale (présente ou absente) comme facteurs intra-sujet et le type de participants (patients schizophrènes ou participants contrôles) comme facteur inter-sujets. Avant de calculer la moyenne, les essais pour lesquels chaque participant avait commis une erreur étaient exclus (en moyenne 20,8% d'erreurs chez les patients et 10% d'erreurs chez les participants contrôles). De plus, un élagage a été conduit sur les données de façon à remplacer les temps de réponse aberrants. Ainsi, pour chaque participant et pour chaque cellule, un temps de réponse inférieur à 150 ms ou supérieur à 2,5 fois la moyenne était remplacé par la moyenne (3,8% des temps de réponse ont été remplacés chez les patients et 0,7%

chez les participants contrôles).

L'analyse de variance a révélé que le facteur polarité était significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) répondaient plus lentement aux stimuli négatifs (1348 ms) qu'aux stimuli positifs (1235 ms), $F(1, 19) = 4.9, p < .04$.

Comme cela est présenté dans la figure 6.6, cette analyse a également révélé que les participants sains présentaient un biais de négativité puisqu'ils répondaient plus lentement aux stimuli négatifs (981 ms) qu'aux stimuli positifs (852 ms), $F(1, 11) = 19.6, p < .001$ (voir aussi l'Expérience 4). L'effet du facteur polarité n'était pas significatif chez les patients, $F < 1$. Notons cependant que l'interaction des facteurs polarité et participants n'était pas significative ($F < 1$). D'autre part, l'effet du facteur participant était significatif ; les patients répondaient plus lentement (1791 ms) que les contrôles (917 ms), $F(1, 19) = 9.8, p < .006$.

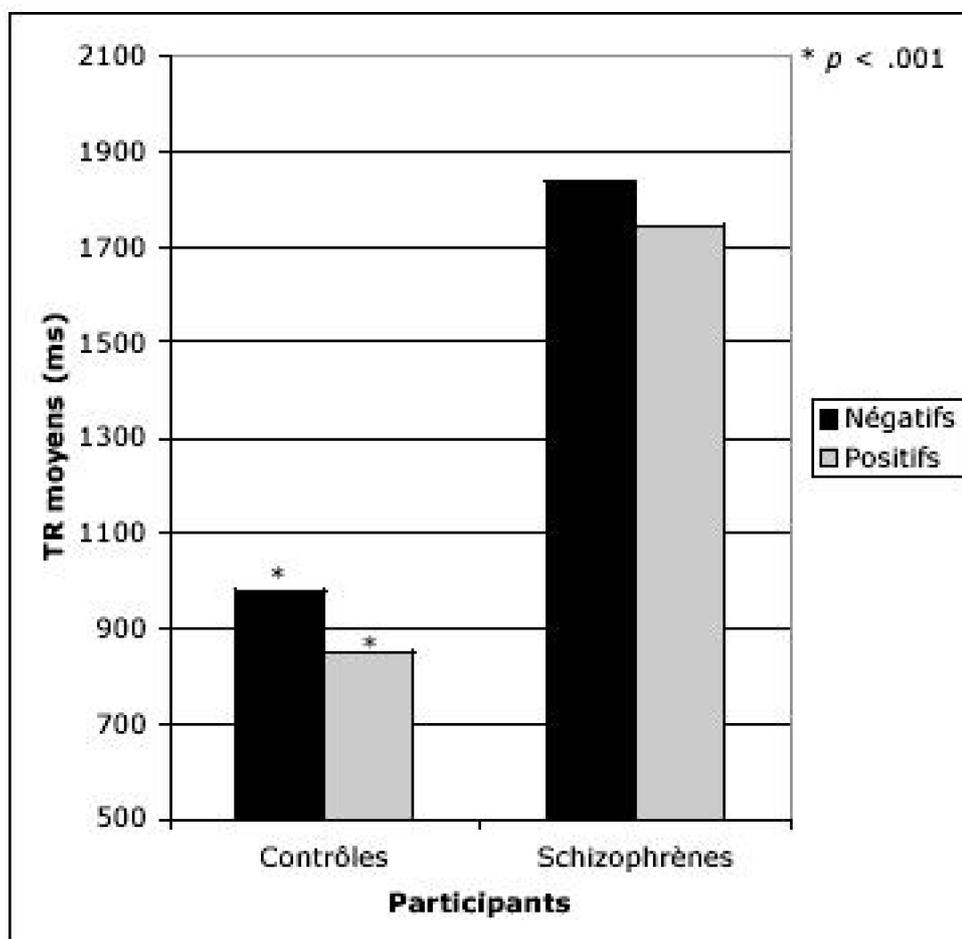


Fig. 6.6 Temps de réponse moyens aux stimuli négatifs et positifs pour les contrôles et les patients à la tâche de jugement hédonique.

L'effet du facteur composante sociale était également significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) répondaient plus lentement aux stimuli sociaux (1387 ms) qu'aux stimuli non sociaux (1196 ms), $F(1, 19) = 11, p < .004$. Précisément, les participants contrôles évaluaient plus lentement les stimuli sociaux (955 ms) que les stimuli non sociaux (880 ms), $F(1, 11) = 18.6, p < .002$. De même, les patients évaluaient

plus lentement les stimuli sociaux (1965 ms) que les stimuli non sociaux (1618 ms), $F(1, 8) = 5.6, p < .05$.

Comme cela est illustré à la figure 6.7, une différence dans les patterns de réponses des contrôles et des schizophrènes selon la polarité et la composante sociale des stimuli a été mise en évidence par l'interaction triple polarité X composante sociale X participants, $F(1, 19) = 4.8, p < .05$.

L'analyse pour l'ensemble des participants (contrôles et patients confondus) a révélé une interaction des facteurs polarité et composante émotionnelle, $F(1, 19) = 16.8, p < .0007$. Ainsi, comme l'illustre la figure 6.7, l'effet de la composante sociale était significativement différent selon la polarité des stimuli. Précisément, pour le groupe contrôle, l'interaction des facteurs composante sociale et polarité a révélé que le ralentissement des participants pour les stimuli négatifs par rapport aux positifs était significativement plus important lorsque les stimuli étaient sociaux que lorsqu'ils ne l'étaient pas, $F(1, 11) = 49.9, p < .0002$. Ces participants répondaient plus lentement aux stimuli négatifs non sociaux (901 ms) qu'aux stimuli positifs non sociaux (858 ms), $F(1, 11) = 6.3, p < .03$. Le ralentissement en fonction de la polarité était plus marqué pour les stimuli sociaux ; les participants répondaient plus lentement aux stimuli négatifs sociaux (1062 ms) qu'aux stimuli positifs sociaux (847 ms), $F(1, 11) = 156.7, p < .0001$.

En revanche, pour le groupe de patients, l'interaction des facteurs composante sociale et polarité a révélé que le biais de négativité ne se produisait que pour les stimuli sociaux, $F(1, 8) = 7.5, p < .03$. En effet, alors que les patients répondaient plus lentement aux stimuli négatifs sociaux (2152 ms) qu'aux stimuli positifs sociaux (1778 ms), $F(1, 8) = 6.6, p < .04$, les patients ne répondaient pas de façon significativement différente aux stimuli non sociaux négatifs (1523 ms) et positifs (1714 ms), $F(1, 8) = 1.7, p > .2$.

Il est intéressant de noter que, quelle que soit la population, l'effet du facteur composante sociale n'était significatif que pour les stimuli négatifs. Alors que les participants sains répondaient plus lentement aux stimuli négatifs sociaux que non sociaux, $F(1, 11) = 88, p < .0001$, ceci n'était pas le cas pour les stimuli positifs, $F < 1$. De même, alors que les patients répondaient plus lentement aux stimuli négatifs sociaux que non sociaux, $F(1, 8) = 18.6, p < .003$, ceci n'était pas le cas pour les stimuli positifs, $F < 1$.

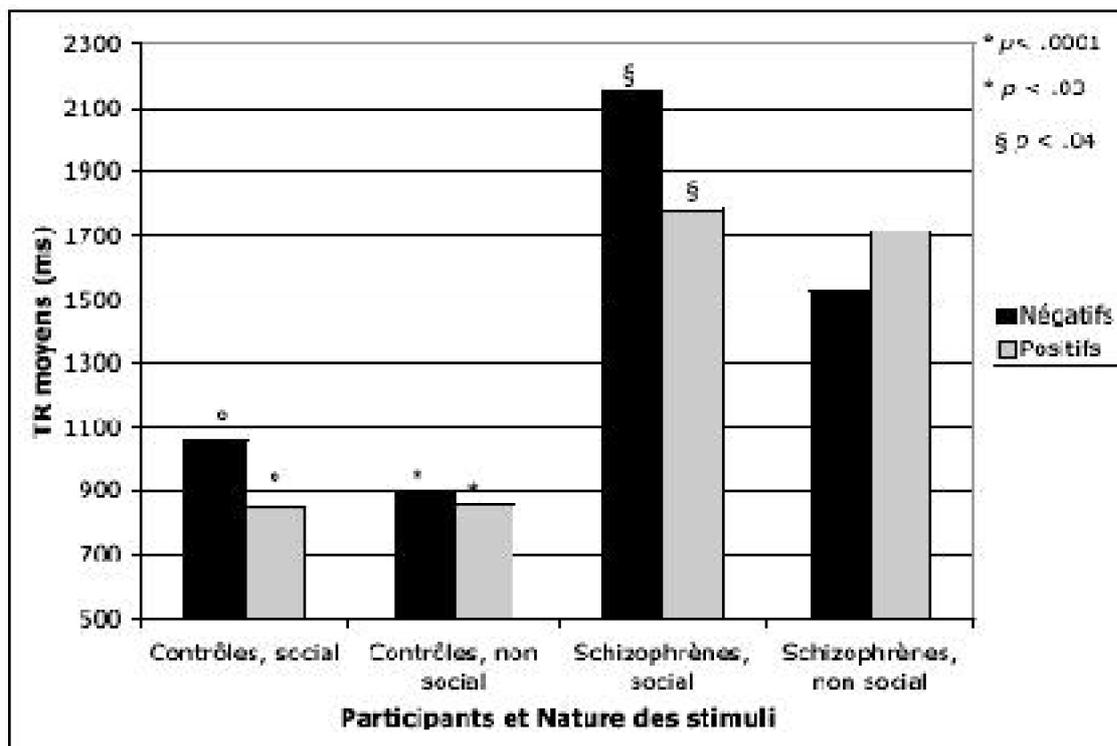


Fig. 6.7 Temps de réponse moyens des patients schizophrènes et de leurs contrôles en fonction de la composante sociale et de la polarité des stimuli dans la condition d'évaluation explicite.

Analyse sur le nombre de bonnes réponses

Une ANOVA a également été réalisée sur le nombre de bonnes réponses avec la polarité (négative ou positive) et la composante sociale (présente ou absente) comme facteurs intra-sujet et le type de participants (patients schizophrènes ou participants contrôles) comme facteur inter-sujets.

L'analyse de variance a révélé que le facteur polarité était significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) ont commis plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli négatifs (19,4%) qu'aux stimuli positifs (10,2%), $F(1, 19) = 10.4, p < .005$. Précisément, les participants contrôles ont commis plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli négatifs (14,2%) qu'aux stimuli positifs (5,6%), $F(1, 11) = 10.7, p < .01$ (voir aussi l'Expérience 4). En revanche, les patients n'ont pas commis significativement plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli négatifs (26,4%) qu'aux stimuli positifs (16,1%), $F(1, 8) = 3.8, p > .1$. Notons cependant que l'interaction des facteurs polarité et participants n'était pas significative ($F < 1$).

L'effet du facteur composante sociale était également significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) ont commis plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli non sociaux (17%) qu'aux stimuli sociaux (12,6%), $F(1, 19) = 7.6, p < .02$. Précisément, les participants contrôles ont commis plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli non sociaux (12,4%) qu'aux stimuli sociaux (7,6%), $F(1, 11) = 6.2, p < .03$. En revanche, les patients n'ont pas commis significativement plus d'erreurs d'évaluation aux stimuli non sociaux

(23,2%) qu'aux stimuli sociaux (19,2%), $F(1, 8) = 2.3, p > .16$. Notons cependant que l'interaction des facteurs polarité et participants n'était pas significative ($F < 1$).

Comme cela est illustré à la figure 6.8., une différence dans les patterns de réponses des contrôles et des schizophrènes selon la polarité et la composante sociale des stimuli a été mise en évidence par l'interaction triple polarité X composante sociale X participants, $F(1, 19) = 5, p < .04$. L'interaction des facteurs polarité et composante sociale n'était pas significative chez les contrôles ($F < 1$) mais était significative chez les patients, $F(1, 8) = 11.6, p < .01$. Ainsi, alors que les patients ont commis plus d'erreurs d'évaluation pour les stimuli négatifs sociaux (30%) que pour les stimuli positifs sociaux (8,7%), $F(1, 8) = 21.8, p < .002$, ces derniers ne répondaient pas de façon significativement différente aux stimuli non sociaux négatifs (23%) et positifs (23,6%), $F < 1$.

Cette analyse a également révélé que plus d'erreurs ont été commises par les patients (21,3%) que par les contrôles (10%), $F(1, 19) = 9, p < .008$.

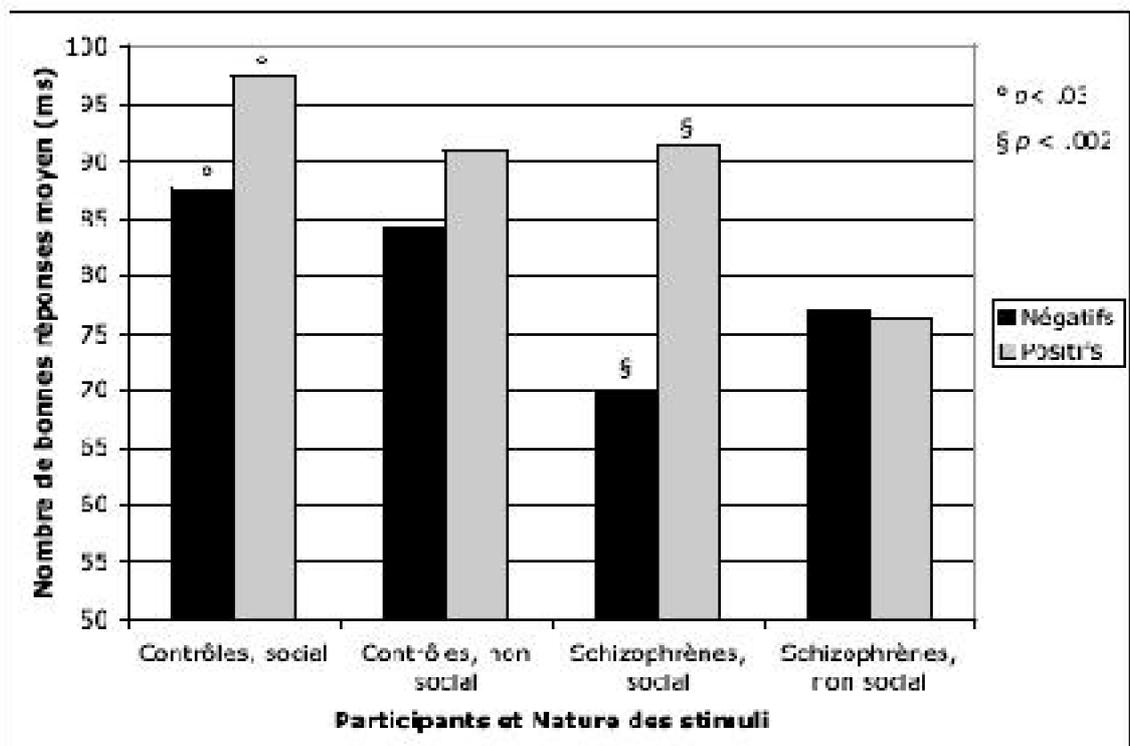


Fig. 6.8 Nombre de bonnes réponses des patients schizophrènes et de leurs contrôles en fonction de la composante sociale et de la polarité des stimuli dans la condition d'évaluation explicite.

Discussion

L'interaction des facteurs polarité et participants n'était significative ni dans l'analyse des temps de réponse ni dans celle du nombre de bonnes réponses. Ceci signifie que l'effet du facteur polarité n'était pas significativement différent entre les patients et les participants sains. Cependant, à un niveau plus fin, le fait que les stimuli soient sociaux ou non a permis de dissocier le pattern de réponse des patients et des contrôles selon la

polarité des stimuli. Ainsi, les patients présentaient un biais de négativité marqué pour les stimuli sociaux mais ne présentaient pas de biais pour les stimuli non sociaux, alors que les participants sains présentaient ce biais pour les deux classes de stimuli. Il apparaît donc que, pour les stimuli non sociaux, les patterns de réponse des participants contrôles et des patients diffèrent selon la polarité du stimulus. Un tel résultat est en faveur de l'hypothèse de polarité.

D'autre part, il est intéressant de noter que l'effet du facteur composante sociale n'était significatif que pour les stimuli négatifs, et ce pour les deux populations. Ainsi, les participants répondaient plus lentement aux stimuli sociaux que non sociaux pour les stimuli négatifs mais pas pour les stimuli positifs. Ceci montre que, pour ces deux populations, les mécanismes impliqués dans l'évaluation des stimuli négatifs et positifs sont différenciellement sensibles à la composante sociale des stimuli, confortant ainsi l'hypothèse de polarité.

L'analyse du nombre de bonnes réponses indique principalement qu'il n'y a pas eu de compromis entre la vitesse d'exécution de la tâche et la précision de la réponse.

Le fait que le nombre le plus élevé d'erreurs et que les temps de réponse les plus lents aient été retrouvés dans la condition d'évaluation de stimuli négatifs sociaux par les schizophrènes est cohérent avec les études suggérant que ces patients présentent un trouble de la reconnaissance des émotions négatives ainsi que des difficultés marquées dans la sphère sociale (p.ex., Bell et al., 1997).

Evaluation implicite

Méthode

Participants

Les participants étaient ceux ayant participé à la condition d'évaluation explicite.

Matériel

Le matériel était identique à celui utilisé dans la condition d'évaluation explicite.

Stimuli

Les stimuli étaient identiques à ceux utilisés dans la condition d'évaluation explicite.

Procédure

La procédure expérimentale était identique à celle utilisée dans la condition d'évaluation explicite, à l'exception de ce qui concerne la tâche et des stimuli utilisés dans la phase d'entraînement. La tâche des participants était de juger le plus rapidement et le plus justement possible si les bordures supérieure et inférieure étaient identiques ou différentes. Par conséquent, les mots « même » et « différent » ont remplacé les mots

« agréable » et « désagréable » dans la phase d'entraînement.

Résultats

Les mêmes d'analyses que celles appliquées aux résultats de la condition d'évaluation explicite ont été utilisées pour analyser les résultats de cette condition.

Analyse des temps de réponse

Comme pour la condition d'évaluation explicite, les essais pour lesquels chaque participant avait commis une erreur étaient exclus (4% d'erreurs pour les contrôles et 7,4% pour les patients). En outre, l'élagage a conduit à remplacer 0,2% des temps de réponse des contrôles et 4,2% des temps de réponse des patients.

L'effet du facteur polarité n'était pas pas significatif dans l'analyse globale (contrôles et patients confondus), $F(1, 19) = 1.6, p > .2$. Ce facteur n'était pas non plus significatif ni pour le groupe de participants contrôles, $F < 1$, ni pour le groupe de patients, $F(1, 8) = 2.1, p > .18$.

L'effet du facteur composante sociale était significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) répondaient plus lentement aux stimuli sociaux (1357 ms) qu'aux stimuli non sociaux (1315 ms), $F(1, 19) = 5.8, p < .03$. Précisément, l'effet de ce facteur était marginalement significatif chez le groupe contrôle, $F(1, 11) = 4.7, p < .052$. Ainsi, les participants sains évaluaient plus lentement les stimuli sociaux (1146 ms) que les stimuli non sociaux (1114 ms). En revanche, ce facteur n'était pas significatif chez les patients, $F(1, 8) = 2.2, p > .17$. Notons cependant que l'interaction des facteurs composante sociale et participant n'était pas significative, $F < 1$.

L'interaction des facteurs polarité et composante sociale n'était significative ni chez les contrôles, $F(1, 11) = 2, p > .18$, ni chez les patients, $F < 1$. Compte tenu de nos hypothèses, les résultats sont tout de même présentés à la figure 6.9.

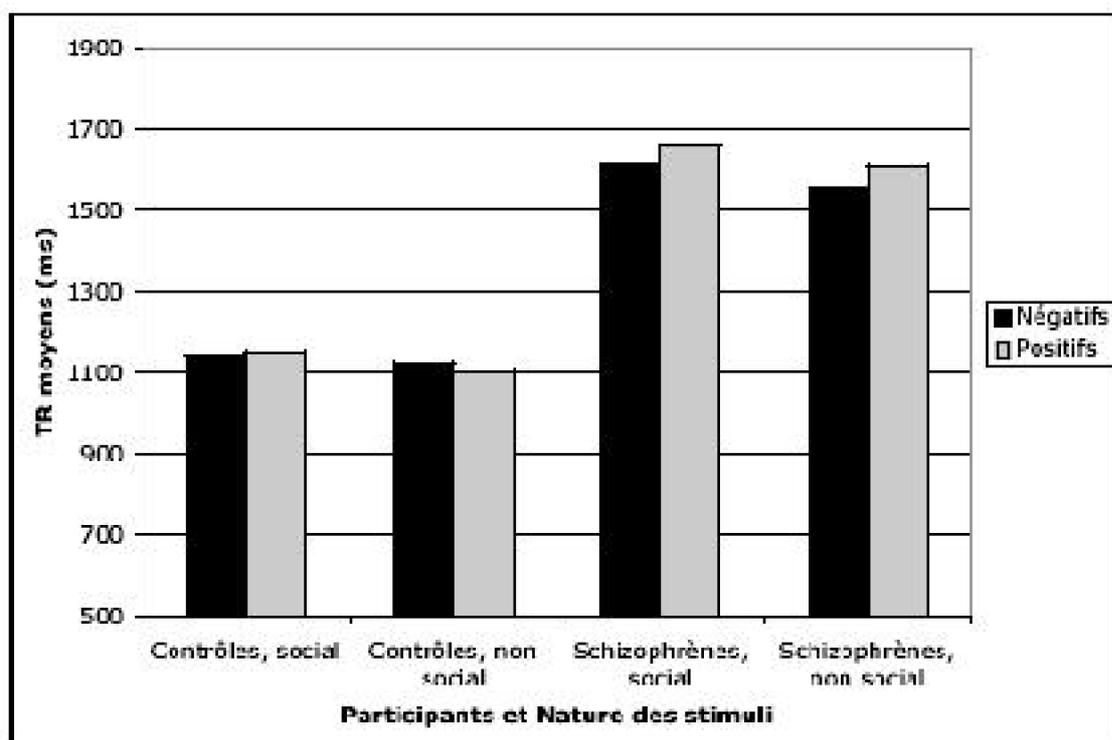


Fig. 6.9 Temps de réponse des patients schizophrènes et de leurs contrôles en fonction de la composante sociale et de la polarité des stimuli dans la condition d'évaluation implicite.

D'autre part, l'analyse a révélé que l'effet simple du facteur configuration des bordures était significatif chez les participants sains qui ont répondu plus rapidement lorsque les bordures étaient identiques (1091 ms) que lorsqu'elles étaient différentes (1168 ms), $F(1, 11) = 31.2, p < .0003$. Cet effet n'était pas significatif chez les patients, $F < 1$. Notons aussi que l'effet du facteur participant était significatif ; les patients répondaient plus lentement (1611 ms) que les contrôles (1130 ms), $F(1, 19) = 10.2, p < .005$.

Analyse du nombre de bonnes réponses

L'analyse de variance sur le nombre moyen de bonnes réponses a révélé que l'interaction des facteurs polarité et participants était significative, $F(1, 19) = 5.7, p < .03$. Précisément, comme illustré dans la figure 6.10, les participants sains ont commis plus d'erreurs dans le jugement de bordures lorsque les stimuli étaient positifs (5,1%) que lorsqu'ils étaient négatifs (2,9%) (voir aussi l'Expérience 4), $F(1, 11) = 8.6, p < .02$. En revanche, les patients n'ont pas commis un nombre d'erreurs significativement différent dans le jugement de bordures lorsque les stimuli étaient positifs (6,2%) et lorsqu'ils étaient négatifs (8,6%), $F(1, 8) = 1.4, p > .27$.

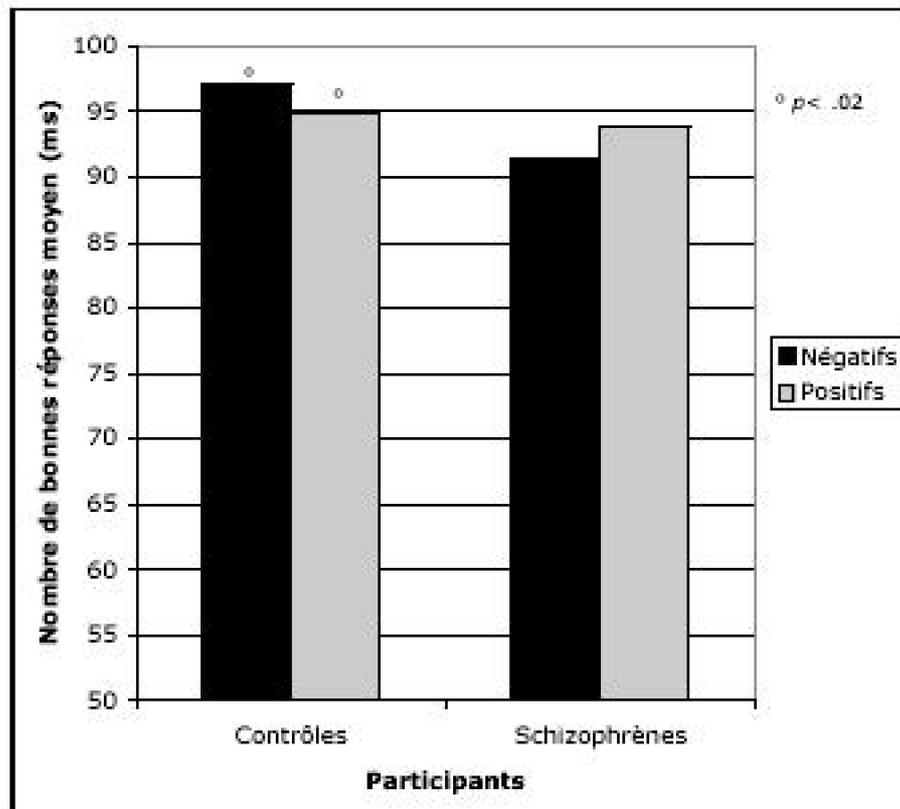


Fig. 6.10 Nombre de bonnes réponses des patients schizophrènes et de leurs contrôles en fonction de la polarité des stimuli dans la condition d'évaluation implicite.

L'effet du facteur composante sociale était marginalement significatif. Les participants (contrôles et patients confondus) ont commis plus d'erreurs dans le jugement de bordures lorsque les stimuli n'étaient pas sociaux (6,12%) que lorsqu'ils l'étaient (4,9%), $F(1, 19) = 4.2, p < .056$. Précisément, l'effet de ce facteur était significatif chez le groupe de patients, $F(1, 8) = 6.2, p < .04$. Les patients ont commis plus d'erreurs lorsque les stimuli n'étaient pas sociaux (8,7%) que lorsqu'ils l'étaient (6,2%). En revanche, ce facteur n'était pas significatif chez les participants contrôles, $F < 1$. Notons que l'interaction des facteurs composante sociale et participant n'était pas significative, $F(1, 19) = 2.3, p > .14$.

Discussion

L'interaction des facteurs polarité et participants était significative dans l'analyse du nombre de bonnes réponses. Le fait que l'effet du facteur polarité diffère selon que les participants soient sains ou schizophrènes représente un argument en faveur de l'hypothèse de polarité. Cela suggère que des mécanismes polarité-dépendants puissent être différenciellement dysfonctionnels dans la schizophrénie.

D'autre part, soulignons que la composante sociale des stimuli a eu un effet sur les temps de réponse des participants sains. De plus, cette composante a eu un effet sur le nombre de bonnes réponses des patients. Ces résultats suggèrent que la dimension sociale est critique, alors même que cette dimension n'était pas pertinente pour la tâche. Cependant, une interprétation alternative de ces effets peut être avancée en se fondant

sur l'existence d'un facteur confondu : la complexité visuelle. En effet, les photographies contenant des scènes sociales tendent à être plus complexes visuellement (p.ex., contiennent plus d'éléments) que les photographies non sociales. Les expériences à venir devraient contrôler ce facteur.

Discussion générale de l'Expérience 5

Deux résultats obtenus à la condition d'évaluation explicite représentent des arguments en faveur de l'hypothèse de polarité.

Le premier argument dérive de la comparaison entre le groupe de sujets sains et le groupe de patients. En effet, dans la condition d'évaluation explicite, la composante sociale des stimuli permettait de dissocier le pattern de réponses des patients et des contrôles selon la polarité des stimuli. Ainsi, pour les stimuli non sociaux, les patterns de réponse des participants contrôles et des patients différaient selon la polarité du stimulus. Cette différence constitue un argument en faveur de l'hypothèse de polarité.

Le second argument dérive de la comparaison entre les réponses aux stimuli sociaux et non sociaux selon la polarité. En effet, les patients et les contrôles répondaient plus lentement aux stimuli sociaux que non sociaux pour les stimuli négatifs mais pas pour les stimuli positifs. Ce résultat suggère que les mécanismes impliqués dans l'évaluation des stimuli négatifs et positifs sont différenciellement sensibles à la composante sociale des stimuli, allant ainsi dans le sens de l'hypothèse de polarité.

Un résultat obtenu à la condition d'évaluation implicite représente également un argument en faveur de l'hypothèse de polarité : l'interaction des facteurs polarité et participants était significative dans l'analyse du nombre de bonnes réponses. Ce résultat suggère que des mécanismes polarité-dépendants puissent être différenciellement dysfonctionnels dans la schizophrénie.

Indépendamment de la composante émotionnelle, il est intéressant de constater que le caractère social des stimuli a eu un effet sur les temps de réponse des participants sains dans les conditions d'évaluation explicite et d'évaluation implicite. Dans la condition d'évaluation explicite, l'effet de cette composante sur les temps de réponse avait été observé également chez les patients. De plus, un effet de ce facteur sur le nombre de bonnes réponses a été obtenu chez les patients dans la condition d'évaluation implicite. Ces résultats suggèrent que la dimension sociale des stimuli a été traitée, alors même que ce traitement était incident à la fois pour la tâche de jugement hédonique et pour la tâche de jugement de bordures.

Discussion Générale et Conclusion

Adoptant une approche computationnelle, la logique de ce travail doctoral était de se fonder sur l'émergence d'une « neuroscience cognitive des émotions » (voir introduction et chapitre 1) pour identifier des contraintes fonctionnelles, computationnelles et neuronales (voir chapitre 2) contraignant l'élaboration d'un modèle des mécanismes émotionnels (voir chapitre 3). Deux hypothèses ont été dérivées de deux aspects essentiels du modèle et ont été opérationnalisées par l'hypothèse de polarité et l'hypothèse d'automatisme (voir chapitre 4). Ces dernières ont été testées expérimentalement en mettant à profit l'interdisciplinarité de la neuroscience cognitive (voir chapitres 5 et 6).

La discussion générale est orientée par les quatre conclusions principales qui se dégagent des recherches expérimentales. Ces conclusions sont les suivantes :

1.
Il existe des mécanismes impliqués différenciellement dans l'évaluation explicite des stimuli positifs et négatifs.
2.
L'évaluation est un mode de traitement par défaut des événements émotionnels.
3.
Il existe des mécanismes impliqués différenciellement dans l'évaluation implicite des stimuli positifs et négatifs.

4.

L'ensemble des mécanismes émotionnels impliqué dans une tâche d'évaluation explicite n'est pas identique à celui impliqué dans une tâche d'évaluation implicite.

Dans un premier temps, les résultats ayant conduit à ces conclusions sont discutés. Le tableau 7.1 permet de faire la synthèse de l'apport de chaque expérience dans le test des hypothèses de polarité et d'automatisme. Ensuite, la validation de l'hypothèse de polarité est interprétée dans le cadre du modèle computationnel proposé au chapitre 3. Ceci nous conduira à aborder le thème de la complexité des émotions comme prolongement de notre réflexion concernant la modélisation des mécanismes émotionnels.

Polarité-dépendance dans l'évaluation explicite

L'hypothèse principale qui a été testée est l'hypothèse selon laquelle, lors de l'évaluation explicite d'un événement émotionnel, l'implication de certains sous-systèmes dépend de la polarité de cet événement (hypothèse de polarité). La conclusion selon laquelle il existe des mécanismes impliqués différenciellement dans l'évaluation explicite des stimuli positifs et négatifs constitue une validation de cette hypothèse. Cette conclusion se fonde sur les résultats expérimentaux suivants :

Implication hémisphérique différentielle en fonction de la polarité

Pour l'Expérience 1.1 (champ visuel divisé), dans laquelle il était demandé aux participants d'effectuer un jugement hédonique, une interaction des facteurs polarité et hémisphère a été mise en évidence pour les temps de réponse.

Dans la condition d'évaluation explicite de l'Expérience 2 (IRMf), une interaction des facteurs polarité et hémisphère a été mise en évidence pour le nombre de voxels activés dans les gyri frontaux latéral et moyen.

Ces interactions indiquent que les deux hémisphères sont différenciellement impliqués dans l'évaluation explicite des stimuli positifs et négatifs, suggérant ainsi que l'implication de certains sous-systèmes dépend de la polarité du stimulus évalué.

Région cérébrale polarité-dépendante

Pour l'Expérience 2, un contraste a révélé une région cérébrale polarité-dépendante : une région du gyrus frontal inférieur droit répondait davantage aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs.

Notons que ce résultat contribue à donner l'avantage à la seconde interprétation des résultats obtenus à l'Expérience 1.1. En effet, l'avantage hémisphérique gauche obtenu pour les temps de réponse a été interprété comme reflétant soit (1) un avantage hémisphérique gauche car les temps de réponse étaient les plus faibles lorsque

l'information était présentée à l'hémisphérique gauche, soit (2) un avantage hémisphérique droit car le biais de négativité était le plus ample lorsque l'information était présentée à cet hémisphère.

Lésion différentielle de mécanismes polarité-dépendants

Pour la condition d'évaluation explicite de l'Expérience 4, le fait que DT et le groupe contrôle présentaient un biais de négativité, alors que NG répondait plus rapidement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs indique que des sous-systèmes polarité-dépendants peuvent être endommagés différemment.

Pour l'Expérience 5, il a été observé que les patterns de réponse des participants contrôles et des patients schizophrènes différaient en fonction de la polarité des stimuli non sociaux. Ce résultat indique que des sous-systèmes polarité-dépendants peuvent être sélectivement dysfonctionnels dans la schizophrénie.

Effet différentiel d'un facteur sur des mécanismes polarité-dépendants

Pour l'Expérience 5, le fait que les patients schizophrènes et les participants contrôles répondent plus lentement aux stimuli sociaux que non sociaux pour les stimuli négatifs mais pas pour les stimuli positifs indique que les mécanismes impliqués dans l'évaluation des stimuli négatifs et positifs peuvent être influencés de façon différentielle par une propriété non émotionnelle des événements.

L'évaluation : mode de traitement *par défaut*

La seconde conclusion suggérée par les résultats est que l'évaluation de la valeur émotionnelle d'un événement est le mode par défaut du système émotionnel. Cette conclusion a été obtenue en testant l'hypothèse d'automatisme. En fait, le concept d'automatisme recouvre de nombreux aspects et l'utilisation d'une tâche qui ne portait pas sur la valeur émotionnelle des stimuli dans chacune des expériences nous a conduits à valider un de ces aspects, celui de l'intentionnalité : l'évaluation est involontaire. Cette conclusion se fonde sur les résultats expérimentaux suivants :

Effet du facteur polarité dans l'évaluation implicite

Pour l'Expérience 1.1, l'effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses a été obtenu : les participants ont commis plus d'erreurs pour juger les bordures lorsque les photographies étaient négatives que lorsqu'elles étaient positives. L'effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses a également été obtenu dans l'Expérience 4 chez le groupe contrôle mais avec un sens opposé : les participants ont commis plus

d'erreurs pour juger les bordures lorsque les photographies étaient positives que lorsqu'elles étaient négatives. Alors que ces deux résultats indiquent qu'une évaluation implicite s'est produite, ils ne permettent pas d'établir de généralité concernant le sens de l'effet de polarité sur le nombre de bonnes réponses.

Pour l'Expérience 2, un biais de négativité a été observé dans la condition d'évaluation implicite : les participants ont jugé les bordures plus lentement lorsque les photographies étaient négatives que lorsqu'elles étaient positives. Notons que la présence d'un biais de négativité dans la condition d'évaluation implicite n'a été observée que pour l'Expérience 2 alors qu'il était également prédit dans l'Expérience 1.2 et dans l'Expérience 4 chez le groupe contrôle.

Pour la condition d'évaluation implicite de l'Expérience 4, il a été observé que le patient DT répondait plus lentement aux stimuli positifs qu'aux stimuli négatifs. Il a également été observé que NG répondait plus lentement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs.

Avantage hémisphérique induit par la valeur émotionnelle

Pour l'Expérience 1.2, un avantage hémisphérique gauche pour les temps de réponse aux stimuli négatifs a été obtenu dans la condition d'évaluation implicite. Cet effet répliquait l'avantage hémisphérique observé dans la condition d'évaluation explicite et les résultats des trois expériences contrôles ont suggéré que cet avantage reflétait effectivement le traitement de la valeur émotionnelle des stimuli.

L'amygdale impliquée dans l'évaluation involontaire

Pour l'Expérience 3, l'hypothèse d'une évaluation émotionnelle implicite chez le patient FC présentant une hyperperfusion amygdalienne bilatérale a été validée. Ce patient jugeait plus lentement la couleur des mots négatifs que celle des mots neutres. Ainsi, les résultats de cette expérience confortent l'hypothèse d'un rôle de l'amygdale dans l'évaluation involontaire.

Polarité-dépendance dans l'évaluation implicite

Une hypothèse dérivée du croisement de l'hypothèse de polarité et de l'hypothèse d'automaticité a également été testée. Il s'agit de l'hypothèse selon laquelle, lors de l'évaluation implicite d'un événement émotionnel, l'implication de certains sous-systèmes dépend de la polarité de cet événement. Notre conclusion selon laquelle il existe des mécanismes impliqués différenciellement dans l'évaluation implicite des stimuli positifs et négatifs est une validation de cette hypothèse. Cette conclusion se fonde sur l'argument suivant :

Lésion différentielle de mécanismes polarité-dépendants

Pour la condition d'évaluation implicite de l'Expérience 4, le fait que NG présentait un biais de négativité alors que DT répondait plus rapidement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs indique que des sous-systèmes polarité-dépendants peuvent être endommagés différemment lors d'une évaluation implicite.

De même, pour la condition d'évaluation implicite de l'Expérience 5, le fait d'avoir observé une interaction des facteurs polarité et participants pour le nombre de bonnes réponses indique que des sous-systèmes polarité-dépendants peuvent être différemment dysfonctionnels chez le patient schizophrène lors d'une évaluation implicite.

Spécificité de l'évaluation explicite par rapport à l'évaluation implicite

Une étape cruciale de l'analyse computationnelle consiste à distinguer les niveaux de traitement auxquels des sous-systèmes particuliers sont recrutés. Déterminer si ce sont les mêmes mécanismes qui sont engagés lorsque l'évaluation est d'ordre explicite et lorsque l'évaluation est d'ordre implicite est d'un intérêt majeur. Les résultats obtenus ont conduit à la conclusion selon laquelle l'ensemble des mécanismes émotionnels recruté par l'évaluation explicite n'est pas identique à celui recruté par l'évaluation implicite.

Réseau cérébral spécialisé dans l'évaluation explicite

L'hypothèse d'une implication différentielle des aires cérébrales engagées dans l'évaluation émotionnelle explicite et dans l'évaluation émotionnelle implicite a été testée dans l'Expérience 2. Alors que cette expérience n'a révélé aucune région cérébrale polarité-dépendante lors de l'évaluation implicite, un réseau cérébral spécialisé dans l'évaluation explicite a été mis en évidence. Ce réseau est constitué du cortex cingulaire antérieur, du cortex préfrontal médian, du gyrus frontal inférieur et de l'amygdale.

Dissociation intra-patient

L'Expérience 4 a permis de mettre en évidence l'existence d'une dissociation intra-patient dans l'évaluation. Les dissociations intra-patients observées chez DT et NG suggèrent que ce n'est pas le même ensemble de sous-systèmes émotionnels qui est engagé dans l'évaluation implicite et dans l'évaluation explicite. En effet, DT répondait plus lentement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était explicite, alors que ce patient répondait plus rapidement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était implicite. En outre, NG répondait plus rapidement aux stimuli négatifs

qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était explicite, alors que cette patiente répondait plus lentement aux stimuli négatifs qu'aux stimuli positifs lorsque l'évaluation était implicite.

Interprétation de la validation de l'hypothèse de polarité dans le cadre du modèle

Dans le cadre du modèle computationnel proposé au chapitre 3, l'hypothèse d'une dissociation du *sous-système d'activation de patterns d'états internes* et du *sous-système de génération d'instructions émotionnelles* en fonction de la polarité a été énoncée. Cette hypothèse a été opérationnalisée sous la forme de l'hypothèse de polarité en faveur de laquelle, comme nous venons de le discuter, des résultats expérimentaux ont été obtenus. Une question essentielle est d'identifier le ou les sous-système(s) dissociable(s) en fonction de la polarité. Les tâches d'évaluation explicite et d'évaluation implicite ont potentiellement mis à contribution l'ensemble du système émotionnel, et notamment ces deux sous-systèmes.

L'évaluation a pu s'effectuer selon les trois voies computationnelles illustrées dans le chapitre 3. Chacune de ces voies est nécessaire et suffisante pour l'évaluation d'une gamme particulière d'événements. Pour chacune, nous examinons maintenant la séquence de traitement nécessaire et suffisante pour une évaluation. Nous discutons également du recrutement potentiel de ces séquences dans les tâches proposées aux participants et de leur potentielle polarité-dépendance. Les résultats obtenus en IRMf s'avèrent particulièrement utiles dans cette démarche.

Dans la première voie, l'activation du sous-système de connexion stimulus-réponse est nécessaire et suffisante pour évaluer certains des stimuli présentés aux participants et pour fournir au système cognitif les informations permettant d'effectuer la tâche. Le fait que la tâche explicite ait activé l'amygdale est en faveur d'une implication de ce sous-système dans la tâche. Le résultat de l'Expérience 2 montrant que l'amygdale n'est pas polarité-dépendante est conforme avec la caractérisation de ce sous-système comme activable par des stimuli négatifs et positifs (voir chapitre 3).

Dans la seconde voie, les connexions visuelles-intéroceptives contenues en mémoire associative permettent l'activation de représentations somatiques au sein du sous-système d'activation de patterns d'états internes qui sont nécessaires et suffisantes pour évaluer certains des stimuli présentés aux participants. Selon cette hypothèse, les représentations de la mémoire associative associées à un pattern d'état interne négatif (respectivement positif) seront évaluées comme négatives (respectivement positives). Quelle que soit la condition d'évaluation, les résultats obtenus en IRMf n'ont pas indiqué que le sous-système d'activation de patterns d'états internes soit recruté pour la tâche car les cortex somatosensoriels n'ont pas été significativement activés. De plus, aucune activation du cortex préfrontal ventromédian n'a été obtenue, ce qui est cohérent avec le fait que les connexions extéroceptives-intéroceptives n'aient pas été déterminantes dans

l'exécution de la tâche. Par conséquent, la validation de l'hypothèse de polarité ne peut pas être considérée comme un argument en faveur d'une dissociation du sous-système d'activation de patterns d'états internes puisqu'aucun élément ne permet de conclure que ce sous-système était impliqué dans la tâche.

Dans la dernière voie, l'estimation des stimuli en mémoire associative est nécessaire et suffisante pour conduire à l'activation du sous-système de génération d'instructions émotionnelles. En se fondant sur les implémentations cérébrales présumées des sous-systèmes, il apparaît que la tâche explicite met à contribution le sous-système de génération d'instructions émotionnelles. En effet, les activations des régions cérébrales proposées comme implémentant ce sous-système (cortex cingulaire antérieur, cortex préfrontal médian et gyrus frontal latéral) ont été obtenues de façon spécifique dans la tâche explicite. Cependant, insistons sur le fait que la technique d'IRMf ne permet pas de déterminer si l'activation de ces régions était nécessaire à la réalisation de la tâche explicite ou si leur activation est une conséquence de l'évaluation. Une expérience utilisant le même paradigme mais avec la technique des potentiels évoqués contribuerait à surmonter cette difficulté. Les résultats d'imagerie cérébrale obtenus dans l'Expérience 2 suggèrent que le sous-système de génération d'instructions émotionnelles ait été activé par la tâche (mais ne démontrent pas que ce sous-système soit nécessaire à l'évaluation explicite). Dans ce contexte, nous interprétons les résultats validant l'hypothèse de polarité dans la condition d'évaluation explicite (voir tableau 7.1) comme reflétant une dissociation du sous-système de génération d'instructions émotionnelles. Le fait d'avoir observé que le gyrus frontal latéral droit était une région polarité-dépendante activée préférentiellement par l'évaluation explicite des stimuli négatifs est un argument supplémentaire pour cette dissociation. Ainsi, soutenant l'hypothèse d'activation asymétrique antérieure, nos résultats sont en faveur d'une dissociation de ce sous-système en un *sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'approche* et un *sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'évitement*. Notons tout de même que les expériences réalisées dans ce travail n'ont pas visé à distinguer la dichotomie Approche/Evitement de la dichotomie Positif/Négatif et que par conséquent les stimuli positifs étaient considérés comme liés à l'approche alors que les stimuli négatifs étaient considérés comme liés à l'évitement. Cependant, pour justifier le choix terminologique dans la caractérisation des deux sous-systèmes de génération d'instructions émotionnelles, il faudrait démontrer que l'aspect tendance à l'action (Approche/Evitement) et l'aspect polarité (Positif/Négatif) ne sont pas confondus. Pour cela, il suffirait de démontrer que l'activation de chacun de ces sous-systèmes peut être modulée en fonction de la polarité d'un événement. Par exemple, un argument décisif consisterait à démontrer que même des stimuli *négatifs* liés à l'approche (p.ex., des stimuli induisant la colère) activent le sous-système de génération d'instructions émotionnelles liées à l'approche.

Cette dernière voie met à profit certaines fonctions de la mémoire associative : celles qui permettent l'estimation (*appraisal*) d'un événement. Ainsi, il est également possible que nos résultats en faveur de l'hypothèse de polarité rendent compte d'une polarité-dépendance d'une ou de plusieurs étapes du processus d'estimation (voir figure 7.1). Notamment, l'étape de détection de l'agrément intrinsèque (Scherer, 1984) d'un

événement permet d'effectuer un jugement hédonique.

Les trois voies décrites ne sont pas mutuellement exclusives : elles fonctionnent en parallèle et entrent en compétition d'un point de vue temporel. Le modèle ne propose pas que l'activation d'une voie particulière dans une tâche soit déterminée par le niveau attentionnel requis pour exécuter cette tâche. Notamment, ces voies ne sont pas spécialisées dans un traitement d'ordre explicite ou implicite. Tout de même, la nature computationnelle des sous-systèmes qui composent ces voies reflète nécessairement les spécificités de chacune. Ainsi, leur contribution relative est probablement différente dans les conditions d'évaluation explicite et implicite. Les résultats expérimentaux indiquant que l'ensemble des mécanismes émotionnels recruté dans une tâche d'évaluation explicite n'est pas identique à celui recruté dans une tâche d'évaluation implicite sont cohérents avec cette suggestion.

Il peut être proposé qu'une différence majeure entre ces ensembles de mécanismes relève d'une étendue plus vaste et d'une intensité plus marquée de la diffusion de l'activation en mémoire associative dans la condition d'évaluation explicite que dans la condition d'évaluation implicite. Par conséquent, il peut être proposé que les deux premières voies sont activées de façon similaire dans les conditions d'évaluation explicite et d'évaluation implicite mais que la troisième voie domine le processus évaluatif de la condition d'évaluation explicite.

Tableau 7.1 Synthèse des arguments apportés par chaque expérience en faveur de la validation des hypothèses testées.

	Evaluation Explicite		Evaluation Implicite	
Expérience	<i>Hyp. de polarité</i>		<i>Hyp. d'automatisme</i>	
1 Champ Visuel Divisé	-Interaction des facteurs polarité et hémisphère pour les temps de réponse	-Effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses -Avantage de l'hémisphère gauche pour les temps de réponse dans l'Exp. 1.2 mais pas 1.3, 1.4, et 1.5.		
2 IRMf événementielle	-Interaction des facteurs polarité et hémisphère pour le nombre de voxels activés Région cérébrale polarité-dépendante	-Effet du facteur polarité sur les temps de réponse		
3 Etude du cas FC		-Effet « Stroop émotionnel » chez FC		
4 Dissociations chez DT et NG	-Dissociation inter-patients	-Effet du facteur polarité sur le nombre de bonnes réponses pour le groupe contrôle -Effet du facteur polarité sur les temps de réponse pour les patients DT et NG	-Dissociation inter-patients	
5 Etude de patients schizophrènes	-Dissociation entre les patients et les contrôles (pour les stimuli non sociaux) -Interaction des facteurs polarité et composante sociale chez les contrôles et les patients		-Interaction des facteurs polarité et participants pour le nombre de bonnes réponses	

Perspectives : la complexité des émotions

Une problématique fondatrice de la réflexion théorique qui a été exposée dans ce manuscrit concerne l'aspect multicomponentiel des mécanismes émotionnels. Un objectif

critique de l'analyse computationnelle était de se fonder sur les composants des émotions pour expliciter les sous-systèmes de traitement supposés constituer le système émotionnel sous la forme d'une architecture fonctionnelle. Ces composants concernent les aspects évaluatif, motivationnel (dont les tendances à l'action, tels que l'approche et l'évitement), expressif, communicationnel, somatique et d'expérience subjective, et interagissent dans la construction dynamique des émotions. Ainsi, la nécessité de révéler les sous-systèmes dans leur dynamique et de considérer les émotions, non pas comme des *états*, mais au contraire comme des phénomènes émergents de l'interaction de *processus*, conduit à analyser le système émotionnel en tant que système complexe (voir p.ex., Scherer, 2000b).

La neuroscience cognitive, pilier des sciences affectives

L'émergence des « sciences affectives » s'explique par l'intérêt de considérer ces différents composants pour une compréhension intégrée des mécanismes émotionnels. Ainsi, des approches de psychologie cognitive, psychologie sociale, anthropologie, philosophie, neuropsychologie, psychiatrie, neuroscience affective, et neurosciences ont contribué à étudier la complexité des émotions.

Comme cela a été souligné dans l'introduction, Sander et Koenig (sous presse) ont proposé que la neuroscience cognitive puisse jouer un rôle majeur dans la résolution du « **complexe d'infériorité induit par la complexité des émotions** ». De part ses objectifs et ses méthodes, la neuroscience cognitive apparaît comme essentielle pour approcher les émotions en termes de système complexe.

Ses objectifs conduisent à effectuer une analyse computationnelle du système émotionnel se fondant sur la dissection fonctionnelle de la complexité de ce système. Ainsi, ce dernier est appréhendé dans sa globalité mais décomposé en sous-systèmes spécialisés dont les interactions sont spécifiées. La dynamique du système est considérée comme pouvant émerger selon deux processus. Le premier est un processus d'intégration physique au sein d'un sous-système donné. Un tel sous-système intègre les informations provenant de sous-systèmes distincts par convergence de connexions (voir p.ex., Bartels & Zeki, 1998). Le second est un processus d'intégration par synchronisation (voir p. ex., Varela, Lachaux, Rodriguez, & Martinerie, 2001). Dans ce cas, un état stable du système émotionnel correspond à un pattern particulier d'activation synchronisée de sous-systèmes distribués.

Certaines méthodes émergentes dans la neuroscience cognitive permettent de tester la complexité du système émotionnel humain. Ces méthodes se révèlent incontournables pour l'étude expérimentale des deux processus décrits ci-dessus. Deux classes de méthodes sont mises à profit dans cette démarche. La première relève de la modélisation et consiste à formaliser un fonctionnement cognitif particulier sous la forme de réseaux de neurones artificiels. Les processus d'intégration peuvent ainsi être simulés sur la base de données contraignantes issues de l'étude des systèmes naturels. L'étude comparée des algorithmes possibles ainsi que des différentes topologies de réseaux de neurones est alors susceptible de renseigner sur les modes d'intégration du système cognitif humain. La seconde classe de méthodes relève des nouvelles techniques d'analyse en imagerie

cérébrale permettant d'identifier des relations spatiales, temporelles et causales entre assemblées neuronales. L'analyse des synchronisations de phases dans le signal EEG permet d'établir des relations temporelles entre sous-systèmes dans une tentative de mise en évidence de la dynamique d'un système dans sa globalité (Aftanas et al., 1998 ; voir Varela et al., 2001). L'enregistrement intracranien de l'activité électrique d'assemblées neuronales chez l'homme (p.ex., chez le patient épileptique) participe également à cette tentative avec une résolution spatiale et temporelle optimales. Grâce à cette technique, une modélisation statistique des structures activées dans un contexte donné (p.ex., une crise d'épilepsie) peut rendre compte de la séquence des activations et de la probabilité d'une causalité directe de deux activations (p.ex., Bartolomei, Wendling, Bellanger, Régis, & Chauvel, 2001). Une telle technique est particulièrement prometteuse dans l'étude de la complexité des émotions car ces enregistrements sont typiquement effectués dans le pôle temporal médian et concernent fréquemment l'amygdale. D'autre part, les méthodes statistiques qui visent à établir des relations de causalité entre régions cérébrales impliquées dans une tâche donnée ont connu un développement considérable pour l'analyse des données IRMf. Ces méthodes ont pour objectif d'établir une connectivité fonctionnelle entre régions cérébrales activées (Friston, Büchel, Fink, Morris, Rolls, & Dolan, 1997) et tolèrent que l'activation cérébrale associée aux fonctions cognitives suive une dynamique non-linéaire (Friston, Price, Fletcher, Moore, Frackowiak, & Dolan, 1996).

L'automaticité : un problème et non une solution

Contrairement à ce qui est suggéré par l'approche néobéhavioriste des émotions (p.ex., LeDoux, 1996 ; Rolls, 1999), il nous semble que l'automaticité ne devrait pas être considérée comme une solution au problème de la complexité. Précisément, la capacité de l'être humain à évaluer automatiquement des événements ne doit pas être envisagée comme la *réponse* au problème de la complexité mais comme une *question* empirique légitime.

Un point essentiel lié à la problématique de l'automaticité trouve son origine dans une question séculaire que l'on peut résumer comme suit : est-ce la perception des variations corporelles, ou l'évaluation de l'événement causal de ces variations qui est à l'origine d'une expérience émotionnelle ? Cette controverse, la plus célèbre de l'histoire de l'étude des émotions, fut consacrée par James (1884) et Lange (1885). Ainsi, Lange (1885, p.673) affichait-il son questionnement dans les termes suivants :

« If I begin to tremble because I am threatened with a loaded pistol, does first a *psychical process occur in me, does terror arise, and is that what causes my trembling, palpitation of the heart, and confusion of thought; or are these bodily phenomena produced directly by the terrifying cause, so that the emotion consists exclusively of the functional disturbances in my body?* »

En choisissant la seconde option (i.e., les phénomènes corporels sont produits directement par la cause terrifiante), James et Lange ont fondé ce qu'il est convenu d'appeler la théorie périphérique des émotions (voir le paragraphe consacré à la contrainte CF9). Par ce choix, ils ont aussi fourni un terrain épistémologique apte à

concevoir que l'automatisme puisse être considérée comme une solution au problème de la complexité. En effet, une notion décisive dans la théorie périphérique est énoncée par Lange : « *directly* ».

Cette notion « directement », qui peut être traduite en termes computationnels comme l'équivalent du concept « automatiquement », aurait dû contribuer à poser une question fondamentale : quel mécanisme cognitif permet une évaluation automatique (directe) d'un événement émotionnel ? Au contraire, elle a contribué à écarter cette question et a été considérée comme une solution au problème de l'évaluation sans qu'il n'apparaisse nécessaire d'expliquer la cause des variations périphériques par l'intervention d'un mécanisme cognitif. Or, la caractérisation des mécanismes automatiques, y compris de ceux dits de haut niveau telle que l'évaluation, représente un objectif majeur des sciences cognitives (voir Bargh & Ferguson, 2000).

Vers une neuroscience cognitive de l'*appraisal*

Pour conclure, nous souhaitons esquisser une voie de recherche intégrant l'approche computationnelle et les modèles de type *appraisal* : la dissection fonctionnelle de la mémoire associative.

Dans la perspective computationnelle, la mémoire associative constitue un réseau de représentations d'où émerge l'estimation (*appraisal*) d'un événement (voir chapitre 3). La confrontation de cette perspective avec celle des modèles fonctionnalistes révélant les étapes de traitement nécessaires à l'estimation pourrait permettre d'établir une structure déterministe de la mémoire associative impliquée dans l'estimation. La mémoire associative étant un sous-système distribué, les dynamiques de traitement proposées par les théoriciens de l'*appraisal* pourraient être soumises à une analyse computationnelle de même nature que celle employée pour les autres composants du système émotionnel. Ainsi, l'émergence d'une neuroscience cognitive de l'*appraisal* apparaît comme fondamentale dans la démarche consistant à modéliser les mécanismes émotionnels suivant une approche multicomponentielle. La dissection fonctionnelle de la mémoire associative en sous-éléments et la caractérisation des connexions que ces sous-éléments entretiennent entre eux mériterait d'être un terrain de recherche privilégié de la neuroscience cognitive des émotions. Un bénéfice de cette démarche serait d'assurer à l'automatisme le statut d'objet d'étude nécessaire à la modélisation de la complexité des émotions puisque les représentations constituant la mémoire associative peuvent être activées dans un mode automatique.

Un critère nécessaire pour légitimer la fondation d'une « neuroscience cognitive de l'*appraisal* » est de montrer par l'étude du fonctionnement cérébral que l'orientation visant à identifier des mécanismes communs aux différentes émotions constitue un niveau analytique plus pertinent que celui se limitant à proposer l'existence de composants qui déclenchent *directement* des émotions basiques. Un argument décisif consisterait à démontrer que même le fonctionnement d'une structure cérébrale impliquée dans l'évaluation automatique de stimuli déclenchant une émotion basique peut être analysé à un niveau indépendant des émotions basiques.

L'amygdale se prête particulièrement bien à cette démonstration car son implication dans l'évaluation automatique des stimuli liés à la peur a été largement démontrée (voir les paragraphes concernant les contraintes CC 3, CC 5, CC 10, CN 3 et les Expériences 2 et 3).

Le mode de traitement automatique (ou plutôt *par défaut*, voir chapitre 2) de cette structure, ainsi que son rôle dans le conditionnement émotionnel et dans l'évaluation de stimuli saillants évolutionnairement nous ont conduits à proposer qu'elle implémente le sous-système de connexion stimulus-réponse (voir chapitre 3). Cependant, il n'a pas été proposé que ce sous-système soit spécialisé pour les stimuli liés à la peur. En effet, de nombreux résultats indiquent que le domaine de spécialisation computationnelle de l'amygdale n'est pas celui des stimuli liés à la peur. Une analyse des propriétés des stimuli qui sont détectées par l'amygdale et de la nature des tâches qui activent cette structure conduit à une réflexion que nous amorçons.

Dans l'Expérience 3, il n'est pas sans conséquence de remarquer que les stimuli qui ont engendré une interférence chez FC sont de type lexical et que d'autres études que celle-ci ont également suggéré une implication de l'amygdale lors de l'évaluation de mots émotionnels (p.ex., Anderson & Phelps, 2001 ; Isenberg et al., 1999 ; Siegle et al., 2002 ; Tabert et al., 2001). Or, la voie sous-corticale reliant directement le thalamus à l'amygdale qui est supposée implémenter le mécanisme d'évaluation automatique ne suffit pas au processus de lecture qui nécessite l'étape corticale pour activer une représentation lexicale. D'ailleurs, comme le notent Isenberg et al. (1999, p. 10458) : « (...) **the assertion of word-specific cells within the amygdala remains to be proven** ». Dans ce contexte, un autre mécanisme évaluatif, peut-être en mémoire associative, devrait être proposé pour rendre compte de cette implication amygdalienne.

Il faut également noter, comme cela a été montré dans l'Expérience 2, que l'amygdale répond aux stimuli positifs. D'autre part, des résultats récents ont mis en évidence le rôle de l'amygdale dans la perception d'une récompense (voir Baxter & Murray, 2002), dans l'estimation de la valeur inhérente à un choix (Kahn et al., 2002), dans le traitement de photographies neutres intéressantes et rares (Hamann et al., 2002), dans la détection d'informations personnelles saillantes durant le sommeil (Portas et al., 2000), dans le jugement de confiance sur des visages n'exprimant pas d'émotion (Winston et al., 2002) et, plus généralement, dans la cognition sociale (voir Adolphs, 2001; Baron-Cohen et al., 2000; George et al., 2001; Hart et al., 2000 ; Kawashima et al., 1999 ; Zalla & Sander, sous presse). Ces résultats révèlent que la nature des computations effectuées par l'amygdale n'est l'esclave d'aucune émotion basique et suggèrent que le rôle de l'amygdale dans les émotions est à reconsidérer. Une telle démarche a été engagée par Whalen (1998) ainsi que par Davis et Whalen (2001) qui ont proposé que l'amygdale joue un rôle central dans la vigilance et la détection de stimuli pertinents.

Un projet de recherche ambitieux consiste à reconsidérer le rôle de l'amygdale dans le cadre des modèles de l'*appraisal*. Ce projet conduirait notamment à réexaminer sur un plan computationnel les rapports entre l'amygdale et la mémoire associative, tout en considérant que l'amygdale est constituée de noyaux dont les fonctions diffèrent (voir p.ex., Davis & Whalen, 2001).

Dans la démarche de modélisation du système cognitif humain, les émotions invitent, plus que tout autre objet d'étude, à s'interroger sur le chaînon manquant reliant « l'esprit qui traite une connaissance » à « l'esprit qui fait l'expérience subjective d'une connaissance ». L'approche computationnelle en sciences affectives promet de contribuer à la caractérisation de ce chaînon manquant, essentiel à une approche intégrée des émotions.

Références

- Aalto, S., Naatanen, P., Wallius, E., Metsahonkala, L., Stenman, H., Niem, P. M., & Karlsson, H. (2002). Neuroanatomical substrata of amusement and sadness: a PET activation study using film stimuli. *Neuroreport*, 13(1), 67-73.
- Adolphs, R. (2001). The neurobiology of social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 231-239.
- Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., & Damasio, A. R. (2000). A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping. *The Journal of Neuroscience*, 20(7), 2683-2690.
- Adolphs, R., & Tranel, D. (1999). Preferences for visual stimuli following amygdala damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(6), 610-616.
- Adolphs, R., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1998). The human amygdala in social judgment. *Nature*, 393, 470-474.
- Adolphs, R., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1995). Fear and the human amygdala. *Journal of Neuroscience*, 15(9), 5879-5891.
- Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A. W., Calder, A.J., Phelps, E. A., Anderson, A., Lee, G. P., & Damasio, A. R. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37, 1111-1117.
- Aftanas, L. I., Lotova, N. V., Koshkarov, V. I., Makhnev, V. P., Mordvintsev, Y. N., & Popov, S. A. (1998). Non-linear dynamic complexity of the human EEG during evoked emotions. *International Journal of Psychophysiology*, 28(1), 63-76.
- Ahern, G. L., Schomer, D. L., Kleefield, J., Blume, H., Cosgrove, G. R., Weintraub, S., & Mesulam, M. M. (1991). Right hemisphere advantage for evaluating emotional facial expressions. *Cortex*, 27, 193-202.
- Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkänen, A., & Carmichael, S. T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspect of emotion, memory and mental dysfunction* (pp. 1-66). New York: Wiley-Liss.
- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411, 305-309.
- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2002). Is the Human Amygdala Critical for the Subjective Experience of Emotion? Evidence of Intact Dispositional Affect in Patients with Amygdala Lesions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 709-720.
- Andler, D. (1992). Introduction, calcul et représentation : les sources. In D. Andler (Ed.), *Introduction aux sciences cognitives*, (pp. 9-46). Paris : Gallimard
- Andreasen, N. C. (1999). A unitary model of schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 56, 781-787.
- Armony, J. L., Servan-Schreiber, D., Cohen, J. D., & LeDoux, J. E. (1997). Computational modeling of emotion: explorations through the anatomy and physiology of fear conditioning. *Trends in Cognitive Science*, 1(1), 28-34.
- Bargh, J. A., & Ferguson, M. J. (2000). Beyond behaviorism : on the automaticity of higher mental processes. *Psychological Bulletin*, 126(6), 925-945.

-
- Baron-Cohen, S. (2000). *Understanding other minds : perspectives from developmental cognitive neuroscience*. Oxford : Oxford University Press.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A ., Bullmore, E. T., Wheelwright, S., Ashwin, C., & Williams, S. C. R. (2000). The amygdala theory of autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 24, 355-364.
- Bartels, A., & Zeki, S. (1998). The theory of multistage integration in the visual brain. *Proceedings of the Royal Society of London*, 265, 2327-2332.
- Bartolomei, F., Wendling, F., Bellanger, J.-J., Régis, J. & Chauvel, P. (2001). Neural networks involving the medial temporal structures in temporal lobe epilepsy. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1746-1760.
- Baxter, M. G., & Murray, E. A. (2002). The amygdala and reward. *Nature Reviews*, 3, 563-573.
- Beauregard, M., Lévesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *The Journal of Neuroscience*, 21, RC165 (1–6).
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., Rockland, C., & Damasio, A. R. (1995). Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in humans. *Science*, 269, 1115-1118.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275, 1293-1295.
- Becker, E. S., Rinck, M., Margraf, J., & Roth, W. T. (2001). The emotional Stroop effect in anxiety disorders. General emotionality or disorder specificity. *Journal of Anxiety Disorders*, 15, 147-159.
- Bell, M., Bryson, G., & Lysaker, P. (1997). Positive and negative affect recognition in schizophrenia: a comparison with substance abuse and normal control subjects. *Psychiatry Research*, 73(1-2), 73-82.
- Bellack, A. S., Mueser, K. T., Wade, J., Sayers, S., & Morrison, R. L. (1992). The ability of schizophrenics to perceive and cope with negative affect. *British Journal of Psychiatry*, 160, 473-480.
- Bentley, I. M. (1928). Is emotion more than a chapter heading ? In M. L. Reymert (Ed.) *Feeling and Emotions* (pp. 17-23). The Wittenberg symposium, Worcester (Oct. 1927). Clark University Press.
- Berenbaum, H., & Oltmanns, T., F. (1992). Emotional experience and expression in schizophrenia and depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 101(1), 37-44.
- Bernat, E., Bunce, S., Shevrin, H. (2001). Event-related brain potentials differentiate positive and negative mood adjectives during both supraliminal and subliminal visual processing. *International Journal of Psychophysiology*, 42, 11-34.
- Blair, R. J. R., Morris, J. S., Frith, C. D, Perret, D. I., & Dolan, R. J. (1999). Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger. *Brain*, 122, 883-893.
- Blonder, L. X., Bowers, D., & Heilman, K. (1991). The role of the right hemisphere in emotional communication. *Brain*, 114, 1115-1127.
- Borod, J. C., Cicero, B., A., Obler, L., K., Welkowitz, J., Erhan, H., M., Santschi, C., Grunwald, I., S., Agosti, R., M., & Whalen, J. R. (1998). Right hemisphere emotional

- perception :evidence across multiple channels. *Neuropsychology*, 12 (3), 446-458.
- Borod, J.C., Haywood, C.S., & Koff, E. (1997). Neuropsychological aspects of facial asymmetry during emotional expression: a review of the normal adult literature. *Neuropsychology Review*, 7 (1), 41-60.
- Borod, J. C., Kent, J., Koff, E., Martin, C., & Alpert, M. (1988). Facial asymmetry while posing positive and negative emotions: support for the right hemisphere hypothesis. *Neuropsychologia*, 26(5), 759-64.
- Borod, J. C. & Madigan, N. K. (2000). Neuropsychology of emotion and emotional disorders: an overview. In J. C. Borod (Ed.), *The Neuropsychology of Emotion*, (pp. 3-30). New York: Oxford University Press.
- Borod, J. C., Rorie, K. D., Haywood, C. S., Andelman, F., Obler, L. K., Welkowitz, J., Bloom, R. L., & Tweedy, J. R. (1996). Hemispheric specialization for discourse reports of emotional experiences: Relations to demographic, neurological, and perceptual variables. *Neuropsychologia*, 34(5), 351-359.
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129-148.
- Breiter, H. C., Etcoff, N. L., Whalen, P. J., Kennedy, W. A., Rauch, S. L., Buckner, R. L., Strauss, M. M., Hyman, S. E., & Rosen B. R. (1996). Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression. *Neuron*, 17(5), 875-87.
- Breiter, H.C., Gollub, R. L., Weisskoff, R. M., Kennedy, D. N., Makris, N., Berke, J. D., Goodman, J. M., Kantor, H. L., Gastfriend, D. R., Riorden, J. P., Mathew, R. T., Rosen, B. R., & Hyman, S. E. (1997). Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion, *Neuron* 19, 591–611.
- Bryson, G., Bell, M., Kaplan, E., Greig, T., & Lysaker, P. (1998). Affect recognition in deficit syndrome schizophrenia. *Psychiatry Research*, 77, 113-120.
- Bryson, S. E., McLaren, J., Wadden, N. P., & MacLean, M. (1991). Differential asymmetries for positive and negative emotion: hemisphere or stimulus effects? *Cortex*, 27(3), 359-365.
- Büchel, C., Dolan, R. J., Armony, J. L., & Friston, K. J. (1999). Amygdala–hippocampal involvement in human aversive trace conditioning revealed through event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 19(24), 10869-10876.
- Büchel, C., & Dolan R. J. (2000). Classical fear conditioning in functional neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 219-23.
- Burock, M. A., Buckner, R. L., Woldorff, M. G., Rosen, B. R., & Dale, A. M. (1998). Randomized event-related experimental designs allow for extremely rapid presentation rates using functional MRI. *NeuroReport*, 9(16), 3735-3739.
- Bush, G., Luu, P., & Posner M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cognitive Science*, 4(6), 215-222.
- Buss, D.M. (1999). *Evolutionary psychology: The new science of the mind*. Boston: Allyn & Bacon.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2001). Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47

-
- Cacioppo, J. T., & Bernston, G. G. (1994). Relationship between attitudes and evaluative space : A critical review, with emphasis on the separability of positive and negative substrates. *Psychological Bulletin*, 115, 401-423.
- Cacioppo, J. T., & Gardner, W. L. (1999). Emotion. *Annual Review of Psychology*, 50, 191-214.
- Cacioppo, J. T., Gardner, W. L., & Berntson, G. G. (1999). The affect system has parallel and integrative processing components: Form follows function. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 839-855.
- Cahill, L. (2000). Modulation of long-term memory in humans by emotional arousal: adrenergic activation and the amygdala. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala*, (pp. 425-446). New York: Oxford University Press.
- Calder, A. J., Lawrence, A., D., & Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Nature*, 2, 352-363.
- Calhoun, V. D., Adali, T., McGinty, V. B., Pekar, J. J., Watson, T. D., & Pearlson, G. D. (2001). fMRI activation in a visual-perception task: network of areas detected using the general linear model and independent components analysis. *NeuroImage* 14, 1080-1088.
- Cañamero, L. (2001). Emotions and adaptation in autonomous agents: a design perspective. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 32, 507-529.
- Canli, T. (1999). Hemispheric asymmetry in the experience of emotion: A perspective from functional imaging. *Neuroscientist*, 5(4), 201-207.
- Canli, T., Desmond, J. E., Zhao, Z., Glover, G., & Gabrieli, J. D. E. (1998). Hemispheric asymmetry for emotional stimuli detected with fMRI, *NeuroReport*, 9, 3233-3239.
- Canli, T., Zhao, Z., Brewer, J., Gabrieli, J. D. E., & Cahill, L. (2000). Event-Related Activation in the Human Amygdala Associates with Later Memory for Individual Emotional Experience. *The Journal of Neuroscience*, 20, RC99 (1-5).
- Caramazza, A. (1992). Is cognitive neuropsychology possible? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(1), 80-95.
- Carretié, L., Mercado, F., Tapia, M., & Hinojosa, J. A. (2001). Emotion, attention, and the « negativity bias », studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 75-85.
- Castelfranchi, C. (2001). The theory of social functions: challenges for computational social science and multi-agent learning. *Journal of Cognitive Systems Research*, 2, 5-38.
- Clancey, W. J. (1997). *Situated Cognition : On Human Knowledge and Computer Representations*. Cambridge University Press.
- Clark, A. (1999). An embodied cognitive science? *Trends in Cognitive Science*, 3(9), 345-351.
- Clore, G. L. (1994). Why emotions are felt. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 103-111). New York: Oxford University Press.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (2000). Evolutionary Psychology and the Emotions. In M. Lewis and J. M. Haviland-Jones (Eds.), *Handbook of Emotions, 2nd Edition*. New

York : Guilford.

- Cosmides, L., & Tooby, J. (2002). *What is evolutionary psychology: Explaining the new science of the mind*. Darwinism Today Series, Yale University Press.
- Clore, G. L. (1994). Why emotions are felt. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 103-111). New York: Oxford University Press.
- Cramer, P., Weegman, M., & O'Neil, M. (1989). Schizophrenia and the perception of emotions. How accurately do schizophrenics judge the emotional states of others? *British Journal of Psychiatry*, *155*, 225-228.
- Critchley, H., Daly, E., Phillips, M., Brammer, M., Bullmore, E., Williams, S., Van Amelsvoort, T., Robertson, D., David, A., & Murphy, D. (2000a). Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: A functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping*, *9*, 93-105.
- Critchley, H. D., Elliott, R., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2000b). Neural activity relating to generation and representation of galvanic skin conductance responses: A functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, *20*(8), 3033-3040.
- Critchley, H. D., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2001). Neuroanatomical basis for first and second-order representations of bodily states. *Nature Neuroscience*, *4*(2), 207-212.
- Crosson, B., Radonovich, K., Sadek, J. R., Gökçay, D., Bauer, R. M., Fishler, I. S., Cato, M. A., Maron, L., Auerbach, E. J., Browd, S. R., & Briggs, R. W. (1999). Left hemisphere processing of emotional connotation during word generation. *NeuroReport*, *10*, 2449-2455.
- Cummins, D.D., & Cummins, R. (1999). Biological preparedness and evolutionary explanation. *Cognition*, *73*, B37-B53.
- Curtis, C.E., Lebow, B., Lake, D.S., Katsanis, J., & Iacono, W.G. (1999). Acoustic startle reflex in schizophrenia patients and their first degree relatives: Evidence of normal emotional modulation. *Psychophysiology*, *36*, 469-475.
- D'Esposito, M., Zarahn, E., & Aguirre, G. K. (1999). Event-related functional MRI: implications for cognitive psychology. *Psychological Bulletin*, *125*(1), 155-164.
- Dahl, M. (2001). Asymmetries in the processing of emotionally valenced words. *Scandinavian Journal of Psychology*, *42*(2), 97-104.
- Dale, A., M. (1999). Optimal experimental design for event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, *8*, 109-114.
- Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation : A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, *33*, 25-62.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error*. New York: Grosset/Putnam Book.
- Damasio, A. R. (1998a). Emotion in the perspective of an integrated nervous system. *Brain Research Reviews* *26*, 83-86.
- Damasio, A. R. (1998b). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. In A. C. Roberts, T. W. Robbins, & L. Weiskrantz (Eds), *The prefrontal cortex*, (pp. 36-50). New York: Oxford University Press.

-
- Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., Damasio, P., Tranel, D., & Hichwa, R. D. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3(10), 1049-1056.
- Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London.
- Davidson, R. J. (1992). Emotion and affective style: hemispheric substrates. *Psychological Science*, 3, 39-43.
- Davidson, R. J. (1994). Honoring biology in the study of affective style. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 321-328). New York: Oxford University Press.
- Davidson, R. J. (1995). Cerebral Asymmetry, Emotion, and Affective Style. In R. J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry*, (pp. 361-387). Massachusetts: MIT Press.
- Davidson, R. J. (2000a). Cognitive Neuroscience Needs Affective Neuroscience (and Vice Versa). *Brain and Cognition*, 42, 89-92.
- Davidson, R. J. (2000b). The functional Neuroanatomy of affective style. In R. D. Lane & L. Nadel (Eds.), *Cognitive Neuroscience of Emotion*, (pp. 371-388). New York: Oxford University Press.
- Davidson, R. J., Coe, C. C., Dolski, I., & Donzella, B. (1999). Individual differences in prefrontal activation asymmetry predict natural killer cell activity at rest and in response to challenge. *Brain, Behavior, and Immunity* 13, 93-108.
- Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C. D., Senulis, J. A., & Friesen, W. V. (1990). Approach/withdrawal and cerebral asymmetry : Emotional expression and brain physiology I. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 330-341.
- Davidson, R. J., Fox, N. A. (1982). Asymmetrical brain activity discriminates between positive and negative affective stimuli in human infants. *Science*, 218(4578), 1235-1237.
- Davidson, R. J., & Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(1), 11-21.
- Davidson, R. J., Jackson, D. C., & Kalin, N. H. (2000). Emotion, plasticity, context, and regulation: perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin*, 126(6), 890-909.
- Davidson, R. J., Pizzagalli, D., Nitschke, J. B., & Putnam, K. M. (2002). Depression: Perspectives from affective neuroscience. *Annual Review of Psychology*, 53, 545-574.
- Davidson, R. J., & Sutton, S. K. (1995). Affective neuroscience: the emergence of a discipline. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, p. 217-224.
- Davis, M. & Whalen, P. J. (2001). The amygdala: vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry*, 6, 13-34.
- de Fockert, J. W., Rees, G., Frith, C. D., & Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, 291, 1803-1806.
- de Gelder, B., Vroomen, J., Pourtois, G., & Weiskrantz, L. (1999). Non-conscious recognition of affect in the absence of the striate cortex. *Neuroreport*, 10, 3759-3763.

- de Gelder, B., Pourtois, G., & Weiskrantz, L. (2002). Fear recognition in the voice is modulated by unconsciously recognized facial expressions but not by unconsciously recognized affective pictures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(6), 4121-4126.
- de Gelder, B., Pourtois, G., van Raamsdonk, M., Vroomen, J. & Weiskrantz, L. (2001). Unseen stimuli modulate conscious visual experience: evidence from inter-hemispheric summation. *Neuroreport*, 12(2), 385-391.
- de Houwer, J., & Hermans, D. (1994). Differences in the affective processing of words and pictures. *Cognition and Emotion*, 8, 1-20.
- de Houwer, J., Hermans, D., & Eelen, P. (1998). Affective and identity priming with episodically associated stimuli. *Cognition & Emotion*, 12(2), 145-156.
- de Maupassant, G. (1887/2000). *Le Horla*. Editions Marabout.
- Dehaene, S. (1998). *Le cerveau en action, Imagerie cérébrale fonctionnelle en psychologie cognitive*. Paris : PUF.
- Dehaene, S. (2002). *The Cognitive Neuroscience of Consciousness*. Massachusetts : MIT Press.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284(5416), 970-4.
- Descartes, R. (1649). *Les passions de l'âme*. Paris.
- Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt B. A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain*, 118(1), 279-306.
- Dimond, S., J., Farrington, L., & Johnson, P. (1976). Differing emotional response from right and left hemispheres, *Nature*, 261, 690-692.
- Dimond, S., J., & Farrington, L. (1977). Emotional response to films shown to the right or left hemisphere of the brain measured by heart rate. *Acta Psychologica*, 41, 255-260.
- Dolan, R. J., Morris J. S., & de Gelder, B. (2001). Crossmodal binding of fear in voice and face. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(17), 10006-10010.
- Duda, P. D., & Brown, J. (1984). Lateral asymmetry of positive and negative emotions. *Cortex*, 20, 253-261.
- Ekman, P. (1993). Facial Expression and Emotion. *American Psychologist*, 48(4), 384-392.
- Ekman, P. (1999). Basic Emotions. In T. Dalgleish and M. Power (Eds.). *Handbook of Cognition and Emotion*. U.K.: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ekman, P., Davidson, R. J., & Friesen (1990). Duchenne's smile : Emotional expression and Brain physiology II. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 342-353.
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. W. (1983). ANS activity distinguishes among emotions. *Science*, 221, 1208-1210.
- Ekman, P., & Rosenberg, E. L. (1997). *What the face reveals*. Oxford : Oxford University Press.
- Everhart, D. E., Harrison, D. W., & Crews, W. D. (1996). Hemispheric asymmetry as a

- function of handedness: perception of facial affect stimuli. *Perceptual and Motor Skills*, 82(1), 264-266.
- Everitt, B. J., Cardinal ; R. N., Hall, J., Parkinson, J. A., & Robbins, T. W. (2000). Differential involvement of amygdala subsystems in appetitive conditioning and drug addiction. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspect of emotion, memory and mental dysfunction* (pp. 354-390). New York: Wiley-Liss.
- Faucher, L. (1999). Émotions fortes et constructionnisme faible. *Philosophiques*, 26(1), 1-33.
- Farah, M. (2000a). *Patient-based approaches to cognitive neuroscience*. Massachusetts: MIT Press..
- Farah, M. (2000b). *The Cognitive neuroscience of vision*. Massachusetts: MIT Press..
- Fazio, R. H., Sanbonmatsu, D. M., Powell, M. C., & Kardes, F. R. (1986). On the automatic activation of attitude. *Journal of Personality and Social Psychology*, 50, 229-238.
- Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology. General*, 130(4), 681-700.
- Fox, N. A., & Davidson, R. J. (1988). Patterns of brain electrical activity during facial signs of emotion in ten month old infants. *Developmental psychology*, 24, 230-236.
- Fried, I., Wilson, C. L., MacDonald, K. A., & Behnke, E. J. (1998). Electric current stimulates laughter. *Nature*, 391, 650.
- Frijda, N. H. (1987). Emotion, cognitive structure, and action tendency. *Cognition and Emotion*, 1, 115-143.
- Frijda, N. H. (1994). Emotions are functional, most of the time. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 112-122). New York: Oxford University Press.
- Friston, K. J., Büchel, C., Fink, G. R., Morris, J., Rolls, E., & Dolan, R. J. (1997). Psychophysiological and modulatory interactions in neuroimaging. *Neuroimage*, 6, 218-229.
- Friston, K., J., Fletcher, P., Josephs, O., Holmes, A., Rugg, M., D., & Turner, R. (1998a). Event-Related fMRI: Characterizing differential responses. *Neuroimage*, 7, 30-40.
- Friston, K. J., Holmes, A. P., Worsley, K. J., Poline, J.-B., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1995). Statistical parametric maps in functional imaging: A general linear approach. *Human Brain Mapping*, 2, 189-210.
- Friston, K. J., Price, C. J., Fletcher, P. Moore, C., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1996). The trouble with cognitive subtraction, *NeuroImage*, 4(2), 97-104.
- Frith, C. D. (1992). *The Cognitive Neuropsychology of Schizophrenia*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Gainotti, G. (1969). Reactions « catastrophiques » et manifestations d'indifférence au cours des atteintes cérébrales. *Neuropsychologia*, 7, 195-204.
- Gainotti, G. (1994). Bases neurologiques et contrôle des émotions. In X. Seron, & M.

- Jeannerod (Eds), Neuropsychologie humaine, (pp. 471-483). Liède : Mardaga.
- Gainotti, G. (2000). Neuropsychological theories of emotion. In J. C. Borod (Ed.), *The Neuropsychology of Emotion*, (pp. 214-238). New York: Oxford University Press.
- Gallese, V. & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12), 493-501.
- Garavan, H., Pendergrass, J. C., Ross, T. J., Stein, E. A., & Risinger, R. C. (2001). Amygdala response to both positively and negatively valenced stimuli. *Neuroreport*, 12(12), 2779-2783.
- Gattet, C., & Bougeant, J.-C. (2001). Effet désynchronisateur de l'émotion à un bas niveau de traitement dans une tâche de mémoire de travail. In J. Caron-Pargue, V. Nyckees, & H. Paugam-Moisy (Eds.), *La cognition entre individu et société : des modèles et des méthodes* (pp. 203-214). Paris : Hermès.
- Gazzaniga, M., S. (1997). What are brains for ? In R. L. Solso (Ed.), *Mind and brain sciences in the 21st Century*, (pp. 157-171). Massachusetts : MIT Press.
- Gazzaniga, M. S. (2000). *The new cognitive neurosciences*. Massachusetts: MIT Press.
- Gazzaniga, M. S. (2000b). Cerebral specialization and interhemispheric communication. *Brain*, 123, 1293-1326.
- George, N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Seen gaze-direction modulates fusiform activity and its coupling with other brain areas during face processing. *Neuroimage*, 13(6 Pt 1), 1102-1112.
- George, M. S., Ketter, T. A., Parekh, P. I., Herscovitch, P., & Post, R. M. (1996). Gender differences in regional cerebral blood flow during transient self-induced sadness or happiness. *Biological Psychiatry*, 40, 859-871.
- Gorno-Tempini, M. L., Pradelli, S., Serafini, M., Pagnoni, G., Baraldi, P., Porro, C., Nicoletti, R., Umita, C., & Nichelli, P. (2001). Explicit and incidental facial expression processing: an fMRI study. *Neuroimage*, 14(2), 465-473.
- Griffiths, P. E. (1999). From Adaptive Heuristic to Phylogenetic Perspective: Some Lessons from the Evolutionary Psychology of Emotion. In P.S Davies and H. R. Holcomb III (Eds.), *The Evolution of Minds: Psychological and Philosophical Perspectives*. Dordrecht : Kluwer.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L., & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 4259-4264.
- Habib, M. (1998a). Latéralisation hémisphérique des émotions : approches expérimentales et débats théoriques. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 587-641.
- Habib, M. (1998b). Apathie, aboulie, athymormie : vers une neurologie de la motivation humaine. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 537-585.
- Habib, M. (2000). Soubassements cérébraux des émotions. In M. Van der Linden, J.-M. Danion, & A. Agniel (Eds.), *La psychopathologie : une approche cognitive et neuropsychologique*. Marseille :Solal.
- Habib, M., & Poncet, M., (1988). Perte de l'élan vital, de l'intérêt et de l'affectivité (syndrome athymormique) au cours de lésions lacunaires des corps striés. *Revue Neurologique*, 144, 571-577.

-
- Hamann, S. (2001). Cognitive and neural mechanisms of emotional memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(9), 394-400.
- Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience*, 2(3), 289-293.
- Hamann, S. B., Ely, T. D., Hoffman, J. M., Kilts, C. D. (2002). Ecstasy and agony : activation of the human amygdala in positive and negative emotion. *Psychological Science*, 13(2), 135-41.
- Hamann, S., & Mao, H. (2002). Positive and negative emotional verbal stimuli elicit activity in the left amygdala. *NeuroReport*, 13(1), 15-19.
- Hariri, A. R., Bookheimer, S. Y., & Mazziotta, J. C. (2000). Modulating emotional responses: effects of a neocortical network on the limbic system. *Neuroreport*, 11(1), 43-48.
- Hart, A. J., Whalen, P. J., Shin, L. M., Mclnerney, S. C., Fischer, H., & Rauch, S. L. (2000). Differential response in the human amygdala to racial outgroup vs ingroup face stimuli. *NeuroReport*, 11, 2351-2355.
- Hartikainen, K. M., Ogawa, K. H., & Knight, R. T. (2000). Transient interference of right hemispheric function due to automatic emotional processing. *Neuropsychologia*, 38, 1576-1580.
- Hatta, T., & Ayetani, N. (1985). Ear differences in evaluating emotional tones of unknown speech. *Acta Psychologica*, 60, 73-82.
- Heining, M., Young, A. W., Williams, S. R. C., Andrew, C., Brammers, M. J., Gray, J. A., & Phillips, M. L. (2000). Neural responses to auditory and visual presentations of anger, disgust, fear and sadness. *Neuroimage*, 11(5), S243.
- Henriques, J. B., & Davidson, R. J. (1991). Left frontal hypoactivation in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 99, 22-31.
- Hermans, D., de Houwer, J., & Eelen, P. (1994). The affective priming effect : automatic activation of evaluative information in memory. *Cognition and Emotion*, 8(6), 515-533.
- Hobbes, T. (1651/1985). *Leviathan*. England: Penguin Classics.
- Hopfinger, J. B., Büchel, C., Holmes, A. P., & Friston, K. (2000). A study of analysis parameters that influence the sensitivity of Event-Related fMRI Analyses. *NeuroImage*, 11, 326-333.
- Houdé, O. (1998). La psychologie cognitive. In, O. Houé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Eds.), *Vocabulaire de sciences cognitives*. Paris : PUF.
- House, A., Dennis, M., Molyneux, A., Warlow, C. & Hawton, K. (1989). Emotionalism after stroke. *British Medical Journal*, 298, 991-994.
- House, A., Dennis, M., Warlow, C., Hawton, K., & Molyneux, A. (1990). Mood disorders after stroke and their relation to lesion location. *Brain*, 113, 1113-1129.
- Iidaka, T., Murata, T., Omori, M., Kosaka, H., Okada, T., Sadato, N., & Yonekura, Y. (2000). Functional MRI study of neural network involved in emotional face processing. *Neuroimage*, 11(5), S230.
- Imaizumi, S., Mori, K., Kiritani, S., Kawashima, R., Sugiura, M., Fukuda, H., Itoh, K.,

- Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Kojima, S., & Nakamura, K. (1997). Vocal identification of speaker and emotion activates different brain regions. *Neuroreport*, 8(12), 2809-2812.
- Irwin, W., Davidson, R. J., Lowe, M. J., Mock, B. J., Sorenson, J. A., & Turski, P. A. (1996). Human amygdala activation detected with echo-planar functional magnetic resonance imaging. *NeuroReport*, 7, 1765-1769.
- Isenberg, N., Silbersweig, D., Engelien, A., Emmerich, S., Malavade, K., Beattie, B., Leon, A. C. & Stern, E. (1999). Linguistic threat activates the human amygdala. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 96, 10456-10459.
- Ito, T. A., & Cacioppo, J. T. (2000). Electrophysiological Evidence of Implicit and Explicit Categorization Processes. *Journal of Experimental Social Psychology*, 36, 660-676.
- Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K., & Cacioppo, J. T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: the negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(4), 887-900.
- James, W. (1884). What is an Emotion? *Mind*, 9, 188-205.
- Jeannerod, M. (1996). *De la physiologie mentale. Histoire des relations entre la psychologie et la biologie*. Paris : Odile Jacob.
- Jeannerod, M. (1997). *The Cognitive Neuroscience of Action*. Oxford: Blackwell.
- Jeannerod, M. (1998). Vers un darwinisme mental ? La pensée évolutionniste en neurosciences. In P. Tort (Ed.), *Pour Darwin*. Paris : PUF.
- Jeannerod, M. (1999). Emotion et cerveau. *Critique*, 625-626, 522-532.
- Jansari, A., Tranel, D., & Adolphs, R. (2000). A valence-specific lateral bias for discriminating emotional facial expression in free field. *Cognition and Emotion*, 14(3), 341-353.
- Josephs, O., Turner, R., & Friston, K. (1997). Event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, 5, 243-248.
- Jouvent, R. (2000). Stress, adaptation et développement. In Y. Michaud (Ed.), *Quest-ce que la vie ?* (pp. 463-472). Paris : Odile Jacob.
- Jouvent, R., & Carton, S. (1994). L'émotion dérégulée. In D. Widlöcher (Ed). *Traité de psychopathologie* (pp. 561-581). Paris : PUF.
- Jouvent, R., Dubal, S., & Pierson, A. (1999). Eroussement adaptatif de l'affectivité : symptôme, réponse comportementale ou trait cognitif ? In M.-L. Bourgeois (Ed.), *L'anhédonie, le non-plaisir en psychopathologie* (pp. 77-86). Paris : Masson.
- Kahn, I., Yeshurun, Y., Rotshtein, P., Fried, I., Ben-Bashat, D., & Hendler, T. (2002). The role of the amygdala in signaling prospective outcome of choice. *Neuron*, 33(6), 983-994.
- Kampe, K. K. W., Frith, C. D., Dolan, R. J., & Frith, U. (2001). Reward value of attractiveness and gaze. *Nature*, 413, 589.
- Kanwisher, N., & Moscovitch, M. (2000). *The Cognitive Neuroscience of Face Processing : A Special Issues of Cognitive Neuropsychology*. Psychology Press.
- Karama, S., Lecours, A. R., Leroux, J.-M., Bourgouin, P., Beaudoin, G., Joubert, S., & Beaugregard, M. (2002). Areas of brain activation in males and females during viewing

- of erotic film excerpts. *Human Brain Mapping*, 16, 1–13.
- Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Ito, K., Fukuda, H., Kojima, S., & Nakamura, K. (1999). The human amygdala plays an important role in gaze monitoring. A PET study. *Brain*, 122(4), 779-783.
- Ketter, T. A., Andreason, P. J., George, M. S., Lee, C., Gill, D. S., Parekh, P.I., Willis, M. W., Herscovitch, P., & Post, R. M. (1996). Anterior paralimbic mediation of procaine-induced emotional and psychosensory experiences. *Archive of General Psychiatry*, 53, 59-69.
- Klauer, K. C. & Musch, J. (2002). Affective Priming: Findings and Theories. In J. Musch & K. C. Klauer (Eds.), *The Psychology of Evaluation: affective processes in cognition and emotion*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kleinginna, P. R. Jr., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5, 345-379.
- Kline, J. P., Blackhart, G. C., Woodward, K. M., Williams, S. R., & Schwartz, G. E. (2000). Anterior electroencephalographic asymmetry changes in elderly women in response to a pleasant and an unpleasant odor. *Biological Psychology*, 52(3), 241-250.
- Koenig, O. (1998). La neuroscience cognitive. In H. Houé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Eds.), *Vocabulaire de sciences cognitives*. Paris : PUF.
- Koenig, O., Laurent, B., Puel, M., Thomas-Anterion, C., & Sander, D. (2001). *Troubles émotionnels et lésions focales; discussion de quatre observations*. Présentation orale devant le Cercle de Neurologie Comportementale (Fondation IPSEN), Fontainebleau, France.
- Koenig, O., & Michelon, P. (1999). What's behind the window? The importance of a computational analysis. *Current Psychology of Cognition*, 18, 541-547.
- Koepp, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T., Brooks, D. J., Bench, C. J., & Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393(6682), 266-268.
- 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 (With a new epilogue that includes new research on emotion and cognition).
- Kosslyn, S. M., & Intriligator, J. M. (1992). Is cognitive neuropsychology plausible? The perils of sitting on a one-legged stool. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(1), 96-106.
- Kosslyn, S.M., Shin, L.M., Thompson, W.L., McNally, R.J., Rauch, S.L., Pitman, R.K., & Albert, N. M. (1996). Neural effects of visualizing and perceiving aversive stimuli: a PET investigation. *Neuroreport*, 7, 1569-1576.
- Kring, A. M., & Neale, J. M. (1996). Do schizophrenic patients show a disjunctive relationship among expressive, experiential, and psychophysiological components of emotion? *Journal of Abnormal Psychology*, 105(2), 249-57.
- Kring, A. M., Kerr, S. L., Smith, D. A., Neale, J. M. (1993). Flat affect in schizophrenia

- does not reflect diminished subjective experience of emotion. *Journal of Abnormal Psychology*, 102(4), 507-517.
- Làdavas, E., Cimatti, D., Del Pesce, M., & Tuoizzi, G. (1993). Emotional evaluation with and without conscious stimulus identification : evidence from a split-brain patient. *Cognition & Emotion*, 7(1), 95-114.
- Lane, R. D., Chua, P. M., & Dolan, R. J. (1999). Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 37(9), 989-997.
- Lane, R. D., Fink, G. R., Chau, P. M., & Dolan, R. J. (1997a). Neural activation during selective attention to subjective emotional responses. *Neuroreport*, 8(18), 3969-3972.
- Lane, R. D., & Nadel, L. (2000). *Cognitive neuroscience of emotion*. Series in Affective Science, Oxford : Oxford University Press.
- Lane, R. D., Reiman, E. M., Axelrod, B., Yun, L. S., Holmes, A., & Schwartz, G. E. (1998). Neural correlates of levels of emotional awareness. Evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(4), 525-535.
- Lane, R. D., Reiman, E. M., Bradley, M. M., Lang P. J., Ahern, G. L., Davidson, R. J., & Schwartz, G. E. (1997b). Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*, 35(11):1437-1444.
- Lang, P. J. (1995). The emotion probe : Studies of motivation and attention. *American Psychologist*, 50, 372-385.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., & Nangi, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35(2), 199-210.
- Lang, P. J., & Greenwald, M. K. (1993). International affective picture system standardization procedure and results for affective judgments: technical reports 1A–1C. *Center for Research in Psychophysiology*. University of Florida, Gainesville.
- Lange, C. G. (1885/1912). The mechanism of the emotions. In B. Rand (Ed.). *The Classical Psychologists* (pp. 672-684). Boston : Houghton Mifflin.
- Laurent, B., & Thomas-Antérion (1998). Présentations psychiatriques dans les lésions hémisphériques unilatérales : discussion d'une latéralisation du contrôle émotionnel. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 643-690.
- Lazarus, R., S. (1984). On the primacy of cognition. *American psychologist*, 39(2), 124-129.
- Lechevalier, B., & Eustache, F. (1994). Contribution potentielle de la neuropsychologie à la psychopathologie. In D. Widlöcher (Ed). *Traité de psychopathologie* (pp. 499-531). Paris : PUF.
- LeDoux, J. E. (1993). Cognition versus emotion, again-This time in the brain : a response to Parrott and Schulkin. *Cognition and Emotion*, 7(1), 61-64.
- LeDoux, J. E. (1994). Emotional processing, but not emotions, can occur unconsciously. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 291-293). New York: Oxford University Press.
- LeDoux, J. E. (1996). *The Emotional Brain*. London: Weidenfeld & Nicolson.

-
- LeDoux, J. E. (2001). In C. Blanchard, R. Blanchard, J. M. Fellous, F. S. Guimarães, W. Irwin, J. E. LeDoux, J. L. McGaugh, J. B. Rosen, L. C. Schenberg, E. Volchan and C. Da Cunha. The brain decade in debate: Neurobiology of emotion, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 34, 283-293.
- Levenson, R. W., Ekman, P., and Friesen, W. V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27, 363-384.
- Leventhal, H. & Scherer, K. (1987). The relationship of emotion to cognition: A functional approach to a semantic controversy. *Cognition and Emotion*, 1, 3-28.
- Ley, R. G., & Bryden, M.P. (1979). Hemispheric differences in recognising emotion and faces. *Brain and Language*, 7, 127-138.
- Liberzon, I., Taylor, S. F., Fig, L. M., Decker, L. R., Koeppe, R. A., & Minoshima, S. (2000). Limbic activation and psychophysiologic responses to aversive visual stimuli: Interaction with cognitive task. *Neuropsychopharmacology*, 23, 508–516.
- Lior, R., & Nachson, I. (1999). Impairment in judgment of chimeric faces by schizophrenic and affective patients. *International Journal of Neuroscience*, 97, 185-209.
- Loas, G., Boyer, P., & Legrand, A. (1999). Anhedonia in the deficit syndrome of Schizophrenia. *Psychopathology*, 32, 207-219.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain*. New York : Basic Books.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative view. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- Maddock, R. J. & Buonocore, M. H. (1997). Activation of left posterior cingulate gyrus by the auditory presentation of threat-related words: an fMRI study. *Psychiatry Research: Neuroimaging Section* 75, 1-14.
- Mammucari, A., Caltagirone, C., Ekman, P., Friesen, W., Gainotti, G., Pizzamiglio, L., & Zoccolotti, P., (1988). Spontaneous facial expression of emotions in brain-damaged patients. *Cortex*, 24, 521-533.
- Mandal, M. K., Jain, A., Haque-Nizamie, S., Weiss, U., & Schneider, F. (1999). Generality and specificity of emotion-recognition deficit in schizophrenic patients with positive and negative symptoms. *Psychiatry Research*. 87(1), 39-46.
- Mandal, M. K., Tandon, S. C., & Asthana, H. S. (1991). Right brain damage impairs recognition of negative emotions. *Cortex*, 27, 247-253.
- Maratos, E. J., Dolan R. J., Morris J. S., Henson R. N. A., & Rugg M. D. (2001). Neural activity associated with episodic memory for emotional context. *Neuropsychologia*, 39, 910–920.
- Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2001). Spatial cognition: where we were and where we are. *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S2-7.
- Mathews, A. M., & Klug, F. (1993). Emotionality and interference with color-naming in anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 31, 57-62.
- McKenna, F. P., & Sharma, D. (1995). Intrusive cognitions: an investigation of the emotional Stroop task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1595-1607.

- Mesulam, M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121, 1013-1052.
- Mishkin, M., Malamut, B., & Bachevalier, J. (1984). Memories and habits: two neural systems. In G. Lynch, L. McGaugh, & N. M. Weinberger (Eds.), *Neurobiology of Learning and Memory*. New York: Guilford Press.
- Montague, P. R., & Dayan, P. (1998). Neurobiological modeling. In W. Bechtel and G. Graham (Eds.), *A companion to cognitive science*, (pp. 526-541). Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- Morris, J. S., Büchel, C., & Dolan, R. J. (2001a). Parallel neural responses in amygdala subregions and sensory cortex during implicit fear conditioning. *Neuroimage*, 13(6 Pt 1), 1044-52.
- Morris, J. S., & Dolan, R. J. (2001). Involvement of Human Amygdala and Orbitofrontal Cortex in Hunger-Enhanced Memory for Food Stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 21(14), 5304-5310.
- Morris, J. S., de Gelder, B., Weiskrantz, L., & Dolan, R. J. (2001b). Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain*, 124(6), 1241-52.
- Morris, J. S., Friston, K. J., Büchel, C., Frith, C. D., Young, A. W., Calder, A. J., & Dolan, R. J. (1998a). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*, 121, 47-57.
- Morris, J. S., Frith, C. D., Perret, D. I., Rowland, D., Young, A. W., Calder, A. J., & Dolan, R. J. (1996). A differential neural response in the human amygdalia to fearful and happy facial expressions. *Nature*, 383, 812-815.
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1998b). Conscious and unconscious emotional learning in the amygdala. *Nature*, 393, 467-470.
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating "unseen" fear. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 1680-1685.
- Musch, J., & Klauer, K. C. (2002). *The Psychology of Evaluation: affective processes in cognition and emotion*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Maccotta, L., Zacks, J. M., & Buckner, R. L. (2001). Rapid Self-Paced Event-Related Functional MRI: Feasibility and Implications of Stimulus- versus Response-Locked Timing. *NeuroImage*, 14, 1105-1121.
- Narumoto, J., Okada, T., Sadato, N., Fukui, K., & Yonekura, Y. (2001). Attention to emotion modulates fMRI activity in the human right superior temporal sulcus. *Cognitive Brain Research*, 12, 225-231.
- National Advisory Mental Health Council. (1995). Basic behavioral science research for mental health : Emotion and motivation. *American Psychologist*, 50, 838-845.
- Niedenthal, P. M., Halberstadt, J. B., & Innes-Ker, A. H. (1999). Emotional response categorization. *Psychological Review*, 106, 337-361.
- Niedenthal, P. M., Halberstadt, J. B., & Setterlund, M. B. (1997). Being happy and seeing "happy": emotional state facilitates visual encoding. *Cognition and Emotion*, 11, 403-432.
- Nilsson, L-G., & Markowitsch, H.J. (1999). *Cognitive Neuroscience of Memory*. Hogrefe & Huber Pub.

- Ochsner, K. N., & Schacter, D. L. (2000). A social cognitive neuroscience approach to emotion and memory. In J. C. Borod (Ed.), *The Neuropsychology of Emotion*, (pp. 163-193). New York: Oxford University Press.
- O'Craven, K. M., Downing, P. E., & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, *401*, 584-587.
- O'Doherty, J. P., Deichmann, R., Critchley, H. D., & Dolan, R. J. (2002). Neural responses during anticipation of a primary taste reward. *Neuron*, *33*, 815-826.
- O'Doherty, J., Rolls, E. T., Francis, S., Bowtell, R., & McGlone, F. (2001). Representation of pleasant and aversive taste in the human brain. *Journal of Neurophysiology*, *85*, 1315-1321.
- O'Reilly, R.C., Munakata, Y., & McClelland, J. L. (2000). *Computational Explorations in Cognitive Neuroscience : Understanding the mind by simulating the brain*. Massachusetts: MIT Press.
- Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala : Nonconscious responses to emotional faces. *Current. Direction in Psychological. Science*, *11*(2), 62-66.
- Öhman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention : Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology :General*, *130*(3), 466-478.
- Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, *108*(3), 483-522.
- Öhman, A., & Soares, J. J. (1998). Emotional conditioning to masked stimuli: expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology General*, *127*(1), 69-82.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Overby III, L. A., Harris, A. E., & Leek, M. R. (1989). Perceptual asymmetry in schizophrenia and affective disorder: implication from a right hemisphere task, *Neuropsychologia*, *27*(6), 861-870.
- Padovan, C., Versace, R., Thomas-Anterion, C., & Laurent, B. (2002). Evidence for a selective deficit in automatic activation of positive information in patients with Alzheimer's disease in an affective priming paradigm. *Neuropsychologia*, *40*(3), 335-339.
- Paradiso, S., Johnson, D. L., Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., Watkins, G. L., Boles Ponto, L. L., & Hichwa, R. D. (1999). Cerebral blood flow changes associated with attribution of emotional valence to pleasant, unpleasant, and neutral visual stimuli in a PET study of normal subjects. *American Journal of Psychiatry*, *156*(10), 1618-1629.
- Paré, D., Collins, D. R., & Pelletier, J. G. (2002). Amygdala oscillations and the consolidation of emotional memories. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(7), 306-314.
- Parrott W. G., & Schulkin, J. (1993). Neuropsychology and the cognitive nature of emotions. *Cognition and Emotion*, *7*(1), 43-59.
- Parsons, L. M., Fox, P. T., Downs, J. H., Glass, T., Hirsch, T. B., Martin, C. C., Jerabek, P. A., & Lancaster, J. L. (1995). Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*, *375*, 54-58.
- Parvizi, J., Anderson, S. W., Martin, C. O., Damasio, H., Damasio, A. R. (2001).

- Pathological laughter and crying: a link to the cerebellum. *Brain*, 124(Pt 9), 1708-19.
- Paus, T. (1996). Location and function of the human frontal eye-field: A selective review. *Neuropsychologia*, 34(6), 475-483.
- Pell, M. D. (1998). Recognition of prosody following unilateral brain lesion: influence of functional and structural attributes of prosodic contours. *Neuropsychologia*, 36(8), 701-15.
- Perner, J., & Lang, B. (1999). Development of theory of mind and executive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 337-344.
- Petrides, M. (2001). Detection of the facial expression of emotion in the absence of striate cortex. *Neuroreport*, 12(2), A9.
- Petit, L. V., Clark, P., Ingeholm, J., & Haxby, J. V. (2001). Dissociation of saccade-related and pursuit-related activation in human frontal eye fields as revealed by fMRI. *Journal of Neurophysiology*, 77, 3386-3390.
- Peyron, R., Laurent, B., & Garcia-Larrea L. (2000). Functional imaging of brain responses to pain. A review and meta-analysis. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 30(5), 263-288.
- Phelps, E. A., O'Connor, K. J., Gatenby, J. C., Gore, J. C., Grillon, C., & Davis, M. (2001) Activation of the left amygdala to a cognitive representation of fear. *Nature Neuroscience*, 4(4), 437-41.
- Phillips, A. G. (1999). "The Brain and Emotion" by Edmund T. Rolls. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(7), 281-282.
- Phillips, M. L., Medford, N., Young, A. W., Williams, L., Williams, S. C. R., Bullmore, E. T., Gray, J. A., & Brammer, M. J. (2001). Time courses of left and right amygdalar responses to fearful facial expressions. *Human Brain Mapping*, 12, 193-202.
- Phillips, M. L., Young, A. W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A. J., Bullmore, E. T., Perrett, D. I., Rowland, D., Williams, S. C. R., Gray, J. A., & David, A. S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389, 495-498.
- Phillips, M. L., Williams, L., Senior, C., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Andrew, C., Williams, S. C., David, A. S. (1999) A differential neural response to threatening and non-threatening negative facial expressions in paranoid and non-paranoid schizophrenics. *Psychiatry Research*, 92(1), 11-31.
- Picard, R. (1997). *Affective Computing*. Massachusetts: MIT press.
- Popper, K. R. (1968). *The Logic of Scientific Discovery* (Revised edition). Hutchinson: London.
- Portas, C. M., Krakow, K., Allen, P., Josephs, O., Armony, J. L., & Frith, C. D. (2000). Auditory Processing across the Sleep-Wake Cycle: Simultaneous EEG and fMRI Monitoring in Humans. *Neuron*, 28, 991-999.
- Posner, M. I., & DiGirolamo, G. J. (2000). Cognitive neuroscience: origins and promise. *Psychological Bulletin*, 126(6), 873-889.
- Pratto, F., & John, O. P. (1991). Automatic vigilance: the attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(3), 380-391.

- Prodan, C. I., Orbelo, D. M., Testa, J. A., & Ross, E. D. (2001). Hemispheric differences in recognizing upper and lower facial displays of emotion. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology*, 14(4), 206-212.
- Rämä, P., Martinkauppi, S., Linnankoski, I., Koivisto, J., Aronen, H. J., & Carlson, S. (2001). Working Memory of Identification of Emotional Vocal Expressions: An fMRI Study. *NeuroImage* 13, 1090-1101.
- Reiman, E. M., Lane, R. D., Ahern, G. L., Schwartz, G. E, Davidson, R. J., Friston, K. J., Yun, L. S., & Chen, K. (1997). Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion, *American Journal of Psychiatry*, 154(7), 918-925.
- Renneville, M. (2000). *Le langage des crânes*. Paris : Les empêcheurs de penser en rond.
- Rey, M., Dellatolas, G., Bancaud, J., & Talairach, J. (1991). Manifestations émotionnelles et asymétrie fonctionnelle hémisphérique: analyse de 73 tests bilatéraux à l'amytal. *Revue de Neuropsychologie*, 1(2), 177-192.
- Richards, J. E. (1998). *Cognitive neuroscience of attention: a developmental perspective*. New Jersey : Lawrence Erlbaum.
- Robinson, R. G., Kubos, K. L., Starr, L. B., Rao, K., & Price, T. R. (1984). Mood disorders in stroke patients : Importance of location of lesion. *Brain*, 107, 81-93.
- Rolls, E. (1999). *The Brain and Emotion*. New-York: Oxford University Press.
- Ross, E. D., Homan, R. W., Buck, R (1994). Differential hemispheric lateralization of primary and social emotions: Implications for developing a comprehensive neurology for emotion, repression, and the subconscious. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology*, 7, 1-19.
- Royet, J.-P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O., & Gervais, R. (2000). Emotional responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *The Journal of Neuroscience*, 20(20),7752–7759.
- Russell, J. A., & Carroll, J. M. (1999). On the bipolarity of positive and negative affect. *Psychological Bulletin*, 25(1), 3-30.
- Sackeim, H. A., Greenberg, M. S., Weiman, A. L., Gur, R. C., Hungerbuhler, J. P., & Geschwind, N. (1982). Hemispheric asymmetry in the expression of positive and negative emotions. Neurologic evidence. *Archive of Neurology*, 39(4), 210-218.
- Sackeim, H. A., Gur, R., & Saucy, M. C. (1978). Emotions are expressed more intensely on the left side of the face. *Science*, 202, 434-436.
- Sander, D. (2001). Neuroscience cognitive des émotions humaines : morceaux choisis. In Y. Orlarey (Ed.). *L'art, la pensée et les émotions* (pp. 79-98). Musée des Beaux-Arts, Lyon, France.
- Sander, D., Grafman, J., & Zalla, T. (in preparation, invited review). Current debates on the functional role of the human amygdala. The contribution of patient and brain imaging studies. *Reviews In The Neurosciences*.
- Sander, D., & Koenig, O. (1999a). *Polarité émotionnelle et spécialisation hémisphérique fonctionnelle*. Poster présenté à la conférence « Emotion et Cognition », Rouen, France.

- Sander, D., & Koenig, O. (1999b). *Separate subsystems for the processing of negative and positive emotional visual stimuli*. Poster présenté à la XIème conférence de la European Society for Cognitive Psychology, Gent, Belgique.
- Sander, D., & Koenig, O. (2000). *Hemispheric Differences for the Processing of Positive and Negative Emotional Stimuli*. Poster présenté à l'International Congress of Psychology, Stockholm, Suède.
- Sander, D. & Koenig, O. (2001). Vers un modèle computationnel des mécanismes émotionnels. In J. Caron-Pargue, V. Nyckees, & H. Paugam-Moisy (Eds.). *La cognition entre individu et société : des modèles et des méthodes* (pp. 177-189). Paris : Hermès.
- Sander, D., & Koenig, O. (sous presse). No inferiority complex in the study of emotion complexity: A cognitive neuroscience computational architecture of emotion. *Cognitive Science Quarterly*, 2(3/4).
- Sander, D., & Koenig, O. (soumis). *Hemispheric asymmetry in explicit and implicit emotional evaluation of pictures: a divided visual field study*.
- Sander, D., Koenig, O., Baciú, M., Ojeda, N., Buron, V., Collomb, K., & Segebarth, C. (soumis). *Testing the polarity hypothesis: An event-related fMRI study of explicit and implicit emotional evaluation*.
- Sander, D., Koenig, O., Georgieff, N., & Franck, N. (en préparation). Implicit and explicit emotional evaluation in normal and schizophrenic subjects : evidence for polarity-dependant mechanisms.
- Sander, D., Koenig, O., & Puel, M. (en préparation). *Irrepressible emotions in a patient with amygdala hyperperfusion*.
- Sander, D., Koenig, O., Thomas-Anterion, C., & Laurent, B. (2001a). *Dissociating the Implicit Processing of Positive vs Negative Emotional Visual Stimuli: The Study of Two Brain-Damaged Patients*. Poster présenté à la XIIème conférence de la European Society for Cognitive Psychology, Edinburgh, Ecosse.
- Sander, D., Koenig, O., Thomas-Anterion, C., & Laurent, B. (2001b). *Evaluation implicite et explicite de la polarité de stimuli émotionnels : une étude de cas*. Poster présenté aux Journées de la Société de Neuropsychologie de Langue Française, Lyon, France.
- Sander, D., Koenig, O., Thomas-Anterion, C., & Laurent, B. (en préparation). *Intra- and inter-patient dissociations in explicit and implicit evaluation of emotional stimuli*.
- Sartre, J. P. (1938/1995). *Esquisse d'une théorie des émotions*. Paris: Hermann.
- Schaefer, S. M., Abercrombie, H. C., Lindgren, K. A., Larson, C. L., Ward, R. T., Oakes, T. R., Holden, J. E., Perlman, S. B., Turski, P. A., & Davidson, R. J. (2000). Six-month test-retest reliability of MRI-defined PET measures of regional cerebral glucose metabolic rate in selected subcortical structures. *Human Brain Mapping*, 10, 1-9.
- Schaffer, C. E., Davidson, R. J., & Saron, C. (1983). Frontal and parietal EEG asymmetries in depressed and non depressed subjects. *Biological Psychiatry*, 18, 753-762.
- Scherer, K. R. (1984). On the nature and function of emotion: A component process approach. In K.R. Scherer & P. Ekman (Eds.), *Approaches to emotion* (pp. 293-317).

Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Scherer, K.R. (1985). Emotions can be rational. *Social Science Information*, 24, 331-335.
- Scherer, K. R. (1994). Emotion serves to decouple stimulus and response. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, (pp. 127-130). New York: Oxford University Press.
- Scherer, K. R. (1999). Appraisal theory. In T. Dalgleish, & M. Power (Eds.), *Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 637-663). Chichester: Wiley.
- Scherer, K. R. (2000). Psychological models of emotion. In J. C. Borod (Ed.), *The Neuropsychology of Emotion*, (pp. 137-162). New York: Oxford University Press.
- Scherer, K. R. (2000b). Emotions as episodes of subsystem synchronization driven by nonlinear appraisal processes. In Lewis, M. & Granic, I. (Eds.) *Emotion, Development, and Self-Organization* (pp. 70-99). New York/Cambridge: Cambridge University Press.
- Scherer (sous presse). Feelings integrate the central representation of appraisal-driven response organization in emotion. In A. S. R. Manstead, N. H. Frijda, & A. H. Fisher (Eds.). *Feelings and Emotions: The Amsterdam Symposium*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Scherer, K. R., Schorr, A., & Johnstone, T. (2001). *Appraisal processes in emotion: Theory, Methods, Research*. New York: Oxford University Press.
- Schmahmann, J. D., & Sherman, J. C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain*, 121, 561-579.
- Schneider, F., Weiss, U., Kessler, C., Salloum, J. B., Posse, S., Grodd, W., & Müller-Gärtner, H. W. (1998). Differential amygdala activation in schizophrenia during sadness. *Schizophrenia Research*, 34, 133-142.
- Seron, X., & Jeannerod, M. (1994). *Neuropsychologie humaine*. Liège : Mardaga
- Sharma, D., & McKenna, F. P. (2001). The role of time pressure on the emotional Stroop task. *British Journal of Psychology*, 92, 471-481.
- Siegle, G. J., Steinhauer, S. R., Thase, M. E., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2002). Can't shake that feeling: event-related fMRI assessment of sustained amygdala activity in response to emotional information in depressed individuals. *Biological Psychiatry*, 51, 693-707.
- Silberman, E. K., Weingartner, H. (1986). Hemispheric lateralization of functions related to emotion. *Brain and Cognition*, 5(3), 322-353.
- Silver, H., Shlomo, N., Turner, T., & Gur, R. C. (2002). Perception of happy and sad facial expressions in chronic schizophrenia: Evidence for two evaluative systems. *Schizophrenia Research*, 55(1-2), 171-177.
- Simpson, J. R., Ongur, D., Akbudak, E., Conturo, T. E., Ollinger, J. M., Snyder, A. Z., Gusnard, D. A., & Raichle, M. E. (2000). The emotional modulation of cognitive processing: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (Suppl 2), 157-170.
- Slovan, A. (2001). Varieties of Affect and the CogAff Architecture Schema. Symposium on Emotion, Cognition, and Affective computing at the AISB'01 Convention, 21st - 24th March.

- Small, D. M. (2002). Toward an understanding of the brain substrates of reward in humans. *Neuron*, 33, 668-671.
- Smith, M. C., Bentin, S., & Spalek, T. M. (2001). Attention constraints of semantic activation during visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 27(5), 1289-1298.
- Sprenghelmeyer, R., Young, A. W., Schroeder, U., Grossenbacher, P. G., Federlein, J., Bittner, T. & Przuntek, H. (1999). Knowing no fear. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 266, 2451-2456.
- Stein, E. A., Pankiewicz, J., Harsch, H. H., Cho, J. K., Fuller, S. A., Hoffmann, R. G., Hawkins, M., Rao, S. M., Bandettini, P. A., & Bloom, A. S. (1998). Nicotine-induced limbic cortical activation in the human brain: a functional MRI study. *American Journal of Psychiatry*, 155(8), 1009-1015.
- Strongman, K. T. (1996). *The Psychology of Emotion* (4th Edition). John Wiley & Son.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Sutton, S. K., & Davidson, R. J. (2000). Prefrontal brain electrical asymmetry predicts the evaluation of affective stimuli. *Neuropsychologia*, 38, 1723-1733.
- Sutton, S. K., Davidson, R. J., Donzella, B., Irwin, W., & Dottl, D. A. (1997). Manipulating affective state using extended picture presentations. *Psychophysiology*, 34(2), 217-26.
- Sutton, S. K., Ward, R. T., Larson, C. L., Holden, J. E., Perlman, S. B., & Davidson (1997). Asymmetry in prefrontal glucose metabolism during appetitive and aversive emotional states : An FDG-PET study. *Psychophysiology*, 34, S89.
- Tabert, M. H., Borod, J. C., Tang, C. Y., Lange, G., Wei, T. C., Johnson, R., Nusbaum, A. O., & Buchsbaum, M. S. (2001). Differential amygdala activation during emotional decision and recognition memory tasks using unpleasant words: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 39, 556-573.
- Talairach, T., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Thieme Medical Publishing: New York.
- Taylor, S.E (1991). Asymmetrical effects of positive and negative events: The mobilization-minimization hypothesis. *Psychological Bulletin*, 110, 67-85.
- Taylor, S. F., Liberzon, I., Decker, L. R., & Koeppe, R. A. (sous presse). A functional anatomic study of emotion in schizophrenia. *Schizophrenia Research*.
- Taylor, S. F., Liberzon, I., Fig, L. M., Decker, L. R., Minoshima, S., & Koeppe, R. A. (1998). The effect of emotional content on visual recognition memory: a PET activation study. *Neuroimage*, 8, 188-197.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 201-216
- Toga, A. W., & Mazziotta, J. C. (2000). *Brain Mapping*. Academic Press.
- Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. W., & Doss, R. (1992). Individual differences in anterior brain asymmetry and fundamental dimensions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 62, 676-687.

-
- Tooby, J., & Cosmides, L. (1995). Mapping the evolved functional organization of mind and brain. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences*, (pp. 1185-1197). Massachusetts: MIT Press.
- Tooby, J., & Cosmides, L. (2000). Toward mapping the evolved functional organization of mind and brain. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences*, (pp. 1167-1178). Massachusetts: MIT Press.
- Uttal, W. R. (2001). *The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain*. Massachusetts : MIT Press.
- Van der Linden, M., Danion, J.-M. & Agniel, A. (2000). *La psychopathologie : une approche cognitive et neuropsychologique*. Marseille :Solal.
- Van Reekum, C. M., & Scherer, K. R. (1997). Levels of processing for emotion-antecedent appraisal. In G. Matthews (Ed.), *Cognitive Science Perspectives on Personality and Emotion*. (pp. 259-300). Amsterdam: Elsevier Science.
- Van Strien, J. W., & Luipen, M. W. (1999). Hemispheric facilitation as a result of threatening and nonthreatening words : blocked vs mixed presentation effects. *Neuropsychologia*, 37, 617-621.
- Varela, F., Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., & Martinerie, J. (2001). The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews*, 2, 229-239.
- Vernet-Maury, E., Alaoui-Ismaili, O., Dittmar, A., Delhomme, G., & Chanel, J. (1999). Basic emotions induced by odorants: a new approach based on autonomic pattern results. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 75, 176–183.
- Versace, R. (sous presse). *La mémoire dans tous ses états*.Marseille :Solal.
- Vincent, J. D. (1986). *Biologie des passions*. Paris : Odile Jacob.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Clarke, K., Husain, M., Driver, J., & Dolan, R. J. (2002). Neural response to emotional faces with and without awareness: event-related fMRI in a parietal patient with visual extinction and spatial neglect. *Neuropsychologia*, 1412, 1-11.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001a). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study. *Neuron*, 3, 829-841.
- Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2001). Beware and be aware: Capture of spatial attention by fear-related stimuli in neglect. *NeuroReport*, 12(6), 1119-1122.
- Vygotsky, L. (1931/1998). *Théorie des émotions. Etude historico-psychologique*. Paris : l'Harmattan.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the Behaviorist Views it. *Psychological Review*, 20, 158-177.
- Watson, D., & Tellegen, A. (1999). Issues in the dimensional structure of affect: Effects of descriptors, measurement error, and response formats: Comment on Russell and Carroll (1999). *Psychological Bulletin*, 125, 601-610.
- Weiskrantz, L. (1986). *Blindsight ; A case study and its implications*. Oxford : Oxford University Press.
- Whalen, P. (1998). Fear, vigilance and ambiguity : initial neuroimaging studies of the

- human amygdala. *Current. Direction in Psychological. Science*, 7(6), 177-187.
- Whalen, P. J., Rauch, L. S., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 411-418.
- Wheeler, R. W., Davidson, R. J., & Tomarken, A. J. (1993). Frontal brain asymmetry and emotional reactivity : A biological substrate of affective style. *Psychophysiology*, 30, 82-89.
- Williams, J. M. G., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120(1), 3-24.
- Williams, L. M., Phillips, M. L., Brammer, M. J., Skerrett, D., Lagopoulos, J., Rennie, C., Bahramali, H., Olivieri, G., David, A.S., Peduto, A., & Gordon, E. (2001). Arousal Dissociates Amygdala and Hippocampal Fear Responses: Evidence from Simultaneous fMRI and Skin Conductance Recording. *NeuroImage*, 14, 1070-1079.
- Windam, S., Daum, I., & Güntürkün, O. (2002). Dissociating prelexical and postlexical processing of affective information in the two hemispheres : Effects of the stimulus presentation format. *Brain and Language*, 80, 269-286.
- Winston, J. S., Strange, B. A., O'Doherty, J. & Dolan, R. J. (2002). Automatic and intentional brain responses during evaluation of trustworthiness of faces *Nature Neuroscience*, 5(3), 277-283.
- Wittling, W. (1990). Psychophysiological correlates of human brain asymmetry : blood pressure changes during lateralized presentation of an emotionally laden film. *Neuropsychologia*, 28 (5), 457-470.
- Wittling, W., Block, A., Schweiger, E., & Genzel, S. (1998). Hemisphere asymmetry in sympathetic control of the human myocardium. *Brain and Cognition*, 38(1), 17-35.
- Wittling W., & Roschmann R. (1993). Emotion-related hemisphere asymmetry: subjective emotional responses to laterally presented films. *Cortex*, 9(3), 431-48.
- Wright, C. I., Fischer, H., Whalen, P. J., McInerney, S. C., Shin, L. M., & Rauch, S. L. (2001). Differential prefrontal cortex and amygdala habituation to repeatedly presented emotional stimuli. *NeuroReport*, 12, 379-383.
- Yecker, S., Borod, J. C., Brozgold, A., Martin, C., Alpert, M., & Welkowitz, J. (1999). Lateralization of facial expression in Schizophrenic and Depressed patients. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 11(3), 370-379.
- Zajonc, R. B. (1980). Feeling and thinking: Preferences need no inferences. *American Psychologist*, 35, 151-175.
- Zajonc, R. B. (1984). On the primacy of affect. *American Psychologist*, 39(2), 117-123.
- Zald, D., & Pardo, J. V. (1997). Emotion, olfaction, and the human amygdalia: Amygdalia activation during aversive olfactory Stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94, 4119-4124.
- Zalla, T., Koechlin, E., Pietrini, P., Basso, G., Aquino, P., Sirigu, A., & Grafman, J. (2000). Differential amygdala responses to winning and losing: a functional magnetic resonance imaging study in humans, *European Journal of Neuroscience*, 12, 1764-1770.
- Zalla, T. & Sander, D. (sous presse). *Le rôle des émotions dans la cognition sociale :*

évolution d'un système modulaire. A paraître dans un ouvrage collectif sur les émotions édité par P. Livet et R. Jouvent. Paris : Hermès.

Zoccolotti, P., Caltagirone, C., Benedetti, N., & Gainotti, G. (1986). Perturbations des réponses végétatives aux stimuli émotionnels au cours des lésions hémisphériques unilatérales. *L'encéphale*, 12, 263-268.