

**Université Lumière Lyon 2**  
Ecole doctorale : Education, Cognition, Langages, Interactions, Psychologie  
Institut de Psychologie

# Analyse psychophysique du champ visuel.

**Par Rosa YSSAAD**

Thèse de doctorat en Psychologie

*Mention Psychologie cognitive*

Dirigée par Kenneth KNOBLAUCH

Présentée et soutenue publiquement le 28 septembre 2001

Devant un jury composé de : Kenneth KNOBLAUCH, Chargé de recherche à l'INSERM de Lyon  
Olivier KOENIG, Professeur de l'Université Lyon 2  
Christian MARENDAZ, Professeur de l'Université de Grenoble  
Kevin O'REGAN, Directeur de recherche au CNRS et Professeur de l'Université Paris 5  
Angela BROWN, Professeur de l'Université d'Ohio.



# Table des matières

..	1
<b>Remerciements . .</b>	<b>3</b>
<b>Résumé .</b>	<b>5</b>
<b>Résumé en Anglais .</b>	<b>7</b>
<b>Epigraphe .</b>	<b>9</b>
<b>Introduction générale . .</b>	<b>11</b>
Problématique de la thèse .	11
Organisation de la thèse . .	15
<b>Partie I .</b>	<b>17</b>
Chapitre 1. Structure de la rétine .	17
1.1. Deux types de photorécepteurs .	18
1.2. Distribution des photorécepteurs sur la rétine. . .	19
1.3. Effet de sommation .	21
2.1. Différents types de cellules ganglionnaires .	22
2.2. Distribution des cellules ganglionnaires à travers la rétine . .	23
2.4. Facteur d'agrandissement rétinien .	25
2.5. Caractéristiques du champ récepteur des cellules ganglionnaires . .	25
Chapitre 2. Structure sous corticale .	26
1.1. Le Corps Géniculé Latéral dorsal (CGLd) .	26
1.3. Facteur d'agrandissement du CGLd . .	28
1.4. Représentation du champ visuel sur le CGL .	28
1.5. Synthèse de la structure sous-corticale . .	29
Chapitre 3. Structure Corticale .	29
1.1. Anatomie de l'aire visuelle primaire (V1) .	30
1.2. Connexions de l'aire V1 .	30
1.3. Physiologie du cortex strié .	33

1.4. Propriétés fonctionnelles des cellules corticales .	34
Chapitre 4. Champ visuel et champ récepteur à travers les aires visuelles corticales .	37
1.1. Représentation du champ visuel sur V1 . .	37
1.2. Représentation du champ visuel dans les autres aires visuelles .	39
1.3. Caractéristiques des champs récepteurs dans différentes aires visuelles . .	40
<b>Partie II . .</b>	<b>43</b>
Chapitre 1. Vision spatiale .	43
1. Acuité visuelle .	44
2. Fonction de sensibilité au contraste .	48
Chapitre 2. Facteur d'agrandissement: approche psychophysique . .	50
1. Facteur d'agrandissement : modèles psychophysiques .	50
2. Concept du $E_2$ . .	52
3. Théorie de l'agrandissement cortical de Rovamo et Virsu .	54
4. Méthode de Watson : règle de décalage pour l'estimation du facteur d'échelle locale .	56
Chapitre 3. Détection et identification dans le champ visuel . .	57
1. Détection versus identification . .	57
2. Détection et identification selon le niveau de contraste . .	58
3. Détection et identification de réseaux .	59
4. Discrimination des distorsions d'images complexes (le visage) .	60
5. Discrimination de phases . .	60
6. Discrimination de texture . .	61
7. Identification de symétrie . .	61
8. Identification de lettres et de caractères alphanumériques .	62
9. Identification d'un ensemble de lettres .	63
Chapitre 4. Phénomène de groupement . .	64
1. Définition du phénomène de groupement .	64
2. Groupement en fovéa .	65
3. Groupement en périphérie . .	66

4. Caractéristiques de l'effet de groupement . .	66
6. Saillance et effet de groupement . .	69
7. Attention et effet de groupement .	69
2. Bases physiologiques de l'effet de groupement .	70
8. Taille du champ récepteur et effet de groupement .	70
9. Facteur d'agrandissement et effet de groupement .	71
10. Canaux sélectifs et effet de groupement . .	71
Chapitre 5. Apprentissage Perceptif .	71
Technique d'Ahumada . .	73
Approche innovante de la technique d'Ahumada .	75
Conclusions et questions .	75
<b>Partie III .</b>	<b>79</b>
Chapitre 1. Méthode psychophysique . .	79
1. Procédure psychophysique : .	79
2. Théorie du seuil . .	80
3. Méthode de stimulus constant . .	82
4. Méthode de choix forcé .	83
5. Théorie de la détection du signal . .	83
Chapitre 2. Facteur d'agrandissement en vision périphérique .	85
I. Expérience 1. Détection et identification de lettres symétriques en vision périphérique . .	85
II. Expérience 2. Détection et identification de lettres de petites tailles et de haut contraste. . .	116
III. Analyse des confusions de lettres symétriques en vision périphérique. . .	123
IV. Expérience 3. La différence entre la détection et l'identification est-elle due à l'échantillonnage spatial ? .	131
V. Conclusion générale concernant la détection et l'identification à travers le champ visuel .	136
Chapitre 3. phénomène de Groupement . .	141
Introduction .	141
I. Expérience 4. Rôle de l'orientation dans l'effet de groupement. .	143

II Expérience 6. Visibilité ou sélectivité aux bases FS ? .	156
III. Expérience 6. Visibilité ou sélectivité aux basses FS? . .	162
IV. Expérience 7. Impact du niveau de contraste sur l'effet de groupement .	171
Conclusion générale concernant la partie du phenomene de groupement . .	189
Chapitre 4. Apprentissage perceptif .	192
1. Introduction .	192
2. Méthode générale .	193
3. Analyse .	195
I. Expérience 8. Expérience préliminaire d'un apprentissage perceptif. .	198
II. Expérience 9. Apprentissage perceptif avec feed-back sonore . .	200
III. Expérience 10 : Apprentissage d'un stimulus inconnu en utilisant un feed-back sonore plus un feed-back visuel .	204
Conclusion générale concernant l'apprentissage perceptif . .	209
Feed-back et apprentissage perceptif .	209
Modèle du prototype ou modèle des exemplaires ? .	209
Apprentissage perceptif au niveau cérébral .	210
Différences inter-individuelles .	211
<b>Conclusions et perspectives de recherche .</b>	<b>213</b>
Perspectives .	217
<b>Présentations et publications .</b>	<b>219</b>
I- Résumés .	219
II. Communications .	220
Communication orales . .	220
Posters . .	220
III. Articles .	220
<b>Bibliographie . .</b>	<b>223</b>

---

*Je dédie cette thèse à ma mère Dehbia Mamèche Et à mon père Bélaïd*





## Remerciements

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ma thèse et plus particulièrement Christian Marendaz et Kevin O'Regan qui ont accepté d'être rapporteurs.

Les probabilités de remerciements augmentent en fonction de l'aide et des apports scientifiques. Ainsi, je tiens à remercier Ken Knoblauch, mon directeur de thèse, pour son soutien et sa compétence scientifique qu'il m'a apportés pour mener à bien ce travail.

Je remercie Bernard Laget d'avoir accepté que j'intègre l'Institut de l'Ingénierie de la vision (Saint-Etienne) pendant le DEA et aussi la première année de ma thèse.

Je remercie également Henry Kennedy de m'avoir acceptée dans son laboratoire INSERM U.371 (Bron) pendant ces deux dernières années de ma thèse.

Un merci particulier à Dennis Levi qui m'a accueillie pendant 8 mois dans son laboratoire au Collège d'Optométrie, Université de Houston (Texas, Etats-Unis). Son enthousiasme et sa rigueur scientifique ont grandement contribué à l'aboutissement de cette thèse. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour son investissement, ses encouragements et son apport scientifique.

Je remercie Hope Queener pour ses conseils et sa précieuse aide dans la réalisation de l'expérience sur la partie de l'effet de groupement, Stanley Klein pour ses conseils dans l'analyse de confusion. Merci Paul Mc Graw et David Whittaker pour votre aide et vos encouragements.

Je tiens aussi à remercier François Vital-Durand pour son aide pendant l'étape de ma rédaction, Jean-Paul Joseph et Jean-Claude Bougeant pour leur aide et leurs encouragements. Je remercie du fond de mon cœur tous les professeurs que j'ai rencontré sur le chemin de mes études. Qu'ils trouvent ici tout mon respect et toute ma reconnaissance.

Je remercie également tous les membres de l'unité INSERM U.371 qui m'ont accompagnée pendant ces deux dernières années. Que chacun trouve ici toute ma reconnaissance pour leur aide.

Je remercie (dans le désordre) : Camille, Laetitia, Guillaume, Céline, Désirée, Julie, Alexis, Igor, Ouria, Simon, Arnaud.

Je tiens à remercier mes amis qui m'ont soutenue au cours de cette thèse. Merci Baya Boudia, ton aide m'a été précieuse et ton amitié me l'est encore plus. Merci Srihary, si l'Email n'existait pas on l'aurait inventé !! Merci Nadia, tes encouragements ont eu leurs fruits, la thèse est là !!! Merci Sandrine pour ton enthousiasme et ton altruisme !!! Merci à Céline Borg, nos conversations téléphoniques m'étaient d'une grande aiiiiiiiiide pendant les moments difficiles de ma thèse. Merci Gaëlle, Fred, Ludovic, et Pénélope, gardons toujours le souvenir de l'extase-amicale (Stockholm : la plage et les chants) !!

A tous mes frères et sœurs (dans le désordre) : Zohra merci pour ton aide. Merci à Sekkoura, Hadda, Fatima et Said. Amar, ton rôle de grand frère a été primordial dans la réalisation de cette thèse, je t'en remercie du fond du cœur ainsi que Dalila !

Kamel, merci d'avoir cru si fort en moi et j'espère que tu croiras aussi en tes deux trésors Tarek et Yassou. Merci à Farid et à tous mes nièces et neveux pour leur gentillesse et leur sympathie, c'est super d'être votre tante !! Que la réussite soit votre alliée !

Un merci particulier plein de fleurs de toutes les senteurs et de toutes les couleurs à ma sœur **Messaouda** pour tout l'amour qu'elle me porte, pour sa détermination et son courage et merci

aussi à son fils Karim.

**A Stéphane,**

Ta tendresse, ton aide sur tous les plans, tes encouragements et ta patience ont été mes repères et la source dans laquelle je puisais ma force pendant la réalisation de ma thèse. Naître est un aller du ciel vers la terre, t'avoir rencontré est le retour au ciel !!

---

## Résumé

L'objectif de ce travail est de comprendre les variations fonctionnelles de la vision à travers le champ visuel. Pour ce faire, trois études ont été réalisées. Dans la première, nous avons appliqué la méthode de Watson afin de mesurer le facteur de mise à l'échelle nécessaire pour obtenir le même niveau de performances dans deux tâches visuelles : détection et identification. La détection et l'identification de lettres symétriques étaient étudiées à trois excentricités (2, 4 et 8°). Les résultats ont montré qu'un facteur de mise à l'échelle permettait de réaliser le même niveau de performances de détection et d'identification à travers le champ visuel périphérique. Cependant, un résultat non attendu était que les deux tâches évoluaient de façon identique à travers la périphérie. L'analyse des réponses erronées de cette expérience argumente en faveur d'une supériorité du traitement de l'orientation tangentielle en vision périphérique. L'analyse d'un observateur a montré que le modèle d'échantillonnage spatial n'explique pas la différence entre détection et identification en fonction des petites traîles.

Les résultats de la première série d'expériences concernaient des stimuli présentés isolément et ne s'appliquaient pas à des stimuli de l'environnement dans lequel les stimuli sont rarement seuls. Ainsi, la deuxième expérience portait sur l'effet de groupement (i.e., baisse d'acuité visuelle lorsqu'une cible est présentée dans un environnement chargé) que l'on mesure grâce à un stimulus composé d'une cible entourée par des distracteurs. Nos résultats ont montré que l'effet de groupement s'étendait sur une distance équivalente à 20% de l'excentricité. Nous avons conclu que l'effet de groupement ne dépend pas uniquement de la similarité entre la cible et le pourtour mais aussi de la différence entre les deux. En effet, lorsque les distracteurs avaient un haut niveau de contraste ou des basses fréquences spatiales, l'effet de groupement s'étendait sur une longue distance.

L'apprentissage perceptif était habituellement mesuré par l'amélioration des performances ou de la sensibilité de l'observateur. Afin d'ouvrir une nouvelle perspective de l'étude de ce phénomène en vision périphérique, nous proposons une technique innovante inspirée de la technique d'image de classification (Ahumada, 1996). Ainsi, la troisième série d'expériences était consacrée à l'apprentissage perceptif d'un stimulus bruité. L'observateur devait détecter la présence ou l'absence d'un signal dont il ignorait la forme. Grâce à la technique de l'image de classification, les indices utilisés ont pu être identifiés et le prototype appris par l'observateur a été schématisé. Les résultats ont montré que l'observateur pouvait apprendre un signal dont il ignorait la forme, cet apprentissage nécessitait un feed-back multi-modal (visuel et auditif).

En conclusion, la vision périphérique n'est pas une version réduite de la vision fovéale. Elle a ses propres caractéristiques qui lui permettent de traiter le flux d'informations qui lui provient de l'environnement.



## Résumé en Anglais

The aim of this work is to understand the functional variation of vision across the visual field. Three studies were undertaken. First, we investigated whether performance for different tasks varies in a similar fashion across the visual field. This question was posed with respect to two visual tasks: detection and identification of mirror-symmetric letters. The method of Watson was used because it permits a test of the scaling hypothesis and an estimation of local spatial scale when scaling holds. The results showed that each task scales with eccentricity, and most importantly, that the two tasks share a common scale factor. An analysis of the letter confusions made by the observers was consistent with tangential discriminations having an advantage over radial ones in peripheral vision. An ideal observer analysis did not support a sampling model to explain the difference between detection and identification as a function of stimulus size.

The results of the first study while relevant for isolated stimuli, do not necessarily account for performance with groups of stimuli. Thus, in a second set of experiments, the phenomenon of crowding was analyzed. Crowding is usually measured by the influence of the flanks on target discrimination. It was found that when the stimuli are band-pass, crowding extends over a distance equal to 20% of the eccentricity. Crowding was shown to be amplified by the similarity and also by differences between the target and the flanks. In fact, it was shown that flanks of higher contrast and lower spatial frequency than the target produced crowding significant crowding.

Finally, there is evidence that perceptual learning plays an important role in peripheral vision. Thus, a third study was devoted to this phenomenon. The observer was presented with a noisy temporal stimulus. His task was to detect a signal initially unknown to him. His judgments were guided by either an auditory or auditory and visual feed-back. By correlating the noisy stimulus with the observer's judgments, we could identify the features on which he based his perceptual decision. The results showed that an auditory feed-back does not suffice to permit perceptual learning, while addition of a visual feed-back did sustain perceptual learning.

To conclude, the peripheral vision is not a reduced copy of the central vision. It does have its own characteristics which permit to process the high flux of information.



## Epigraphe

*And I say that life is indeed darkness save when there is urge, And all urge is blind save when there is knowledge, And all knowledge is vain save when there is work, And all work is empty save when there is love; And when you work with love you bind yourself to yourself, and to one another, and to God. And what is it to work with love? It is to weave the cloth with threads drawn from your heart, even as if your beloved were to wear that cloth. It is to build a house with affection, even as if your beloved were to dwell in that house. It is to sow seeds with tenderness and reap the harvest with joy, even as if your beloved were to eat the fruit. It is to charge all things you fashion with a breath of your own spirit, And to know that all the blessed dead are standing about you and watching. Khalil Gibran. 'The Prophet'*





# Introduction générale

L'étude de la perception visuelle bénéficie de l'interaction entre plusieurs disciplines. Les études anatomiques et physiologiques localisent et spécifient les fonctions des aires visuelles. Les mathématiques et la physique étudient les caractéristiques du stimulus telles les fréquences spatiales, le contraste, la taille, le flux optique. Enfin, pour observer l'influence du stimulus sur la réponse comportementale du sujet humain et trouver les régularités liant la sortie à l'entrée du système visuel, l'approche psychophysique est le moyen expérimental le plus adapté que nous avons choisi dans le cadre de notre recherche.

Dans une expérience psychophysique de détection, l'observateur doit dire si oui ou non il a vu la cible. Dans une expérience d'identification l'observateur doit dire quelle cible il a perçu. Si deux stimuli, physiquement différents (par exemple : écran vide ou écran avec cible, lettre 'a' ou lettre 'b' etc.), ne sont pas distingués par le système visuel, alors ceci suggérera que l'information qui les différencie a été perdue quelque part au long de la chaîne physiologique qui assure le traitement de l'information visuelle. Par contre, si ces deux stimuli sont distingués l'un de l'autre, ceci indiquera que les signaux qui les différencient sont au moins conservés à toutes les étapes de la chaîne traitant cette information ( Teller, 1990).

## Problématique de la thèse

---

Lorsqu'un stimulus est perçu par le centre de la rétine appelée **fovéa**, le système visuel est particulièrement sensible à son détail qu'il code tout au long de la chaîne du traitement de l'information visuelle. En revanche, lorsque ce même stimulus est perçu dans la **périphérie** rétinienne une partie de l'information plus ou moins importante pour la reconnaissance de ce stimulus est perdue. En effet, l'acuité visuelle ou résolution spatiale, est maximale dans la fovéa et se dégrade progressivement dans la périphérie. En regardant la lettre 'g' ci-dessous on peut l'identifier bien que cela soit difficile.



Par contre, si on fixe le point à gauche, la reconnaissance du 'g' dans la partie périphérique droite s'avère très difficile voire impossible. Des différences anatomiques et physiologiques expliquent cette différence fonctionnelle.

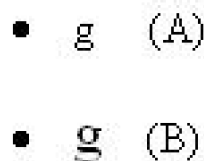
Les différences entre vision fovéale et vision périphérique sont présentes dans les trois centres d'intégration principaux du système visuel : la rétine, le corps géniculé latéral et le cortex visuel. Les cônes, photorécepteurs photopiques qui assurent la vision de jour et traitent le détail et la couleur, sont plus denses au centre de la rétine et deviennent de moins en moins denses à mesure que l'on se déplace vers la périphérie. Les champs récepteurs des cellules ganglionnaires situés dans la fovéa sont très petits ( $0.25^\circ$ ) et deviennent de plus en plus grands en s'éloignant vers la périphérie, jusqu'à atteindre une surface supérieure à dix degrés. De plus, l'espacement entre les photorécepteurs est plus régulier au centre qu'en périphérie rétinienne.

Le corps géniculé latéral et l'aire visuelle primaire (V1) du cortex visuel abritent une carte de la rétine (projection rétinotopique), de sorte que deux points adjacents de la rétine se projettent de façon ordonnée. La densité des cellules est homogène au niveau de V1, ce qui change c'est la surface vouée au traitement d'un degré d'angle visuel : *le facteur d'agrandissement cortical*. Le champ visuel central est traité par des photorécepteurs régulièrement espacés et une plus grande surface corticale que le champ visuel périphérique.

**Deux modèles physiologiques** s'opposent quant à l'agrandissement cortical de la partie centrale du champ visuel. Un premier modèle attribue cet agrandissement à la densité des cellules ganglionnaires autour du centre de la rétine (Webb & Kaas, 1976). L'agrandissement étant défini comme le rapport de la surface de la structure neuronale par l'étendue de l'espace représenté. Le deuxième modèle propose que le cortex visuel bénéficie d'un agrandissement supplémentaire qui n'est pas dû uniquement à la densité des cellules ganglionnaires (Malpel & Baker, 1975 ; Perry & Cowey, 1985). Une étude ultérieure apporte des arguments en faveur de ce deuxième modèle (Myerson, Manis, miezin & Allman, 1977). Ces auteurs ont observé que la représentation corticale du champ visuel central est plus importante que ne le prédit la distribution des cellules ganglionnaires. En effet, 42% de l'aire V1 est vouée au champ visuel central de  $10^\circ$  alors que 25% seulement des cellules ganglionnaires sont vouées à cette même portion du champ visuel (Silveira, Picanço-Diniz, Sampaio & Oswalzo-Cruz, 1989).

**Deux modèles psychophysiques** s'opposent pour expliquer la différence entre les performances visuelles réalisées au centre du champ visuel et celles réalisées dans sa

périphérie. D'abord, le **modèle à échelle unique** proposé par Rovamo et Virsu (1979). En partant du constat de la sur-représentation de la fovéa et de la sous-représentation de la périphérie, ces auteurs ont formulé l'hypothèse suivante : si la différence entre la rétine centrale et la rétine périphérique est une question de représentation corticale, alors l'agrandissement de la taille d'un stimulus en périphérie donnerait les mêmes performances qu'en fovéa. Cette hypothèse a été vérifiée dans une expérience psychophysique où le sujet devait détecter la présence ou l'absence d'un stimulus à différentes excentricités. Les résultats ont montré une égalisation des performances à travers le champ visuel après agrandissement adéquat des stimuli selon l'excentricité à laquelle ils étaient présentés. C'est la naissance de la *théorie du facteur d'agrandissement*.



En effet, comme le montre la figure ci-dessus, la lettre 'g' est plus facile à identifier dans la condition *B* que dans la condition *A* grâce à un agrandissement de la taille du stimulus. L'idée d'un facteur d'agrandissement permettant de rendre équivalentes différentes tâches visuelles à travers le champ visuel est controversée par plusieurs auteurs (Farrel & Desmarais, 1990 ; Levi & Aitsebaomo, 1985, Saarinen, 1988, Saarinen, Rovamo & Virsu, 1989, Strasburger, Harvey & Rentschler, 1991, Strasburger, Rentschel & Harvey, 1994) . En effet, ces auteurs ont observé que le facteur d'agrandissement proposé par Rovamo et Virsu ne pouvait rendre équivalentes des tâches visuelles telles que l'identification de chiffres arabes (Farrel & Desmarais, 1990, Strasburger, Harvey & Rentschler, 1991, Strasburger, Rentschel & Harvey, 1994), de patterns symétriques en miroir (Saarinen, 1988, Saarinen, Rovamo & Virsu, 1989) et la discrimination de positionnement vernier (levi & al, 1985) à travers le champ visuel.

En reprenant les résultats d'études physiologiques, Levi et al., (1985) ont proposé le **modèle à double échelle**. Ces auteurs ont représenté le rapport périphérie/fovéa de l'inverse de la densité des cônes ( $CD^{-1}$ ) (Dow, Snyder, Vautin & Bauer, 1981) ainsi que l'inverse de la représentation corticale ( $M^{-1}$ ) (Rolls & Cowey, 1970) en fonction de l'excentricité en degrés d'angle visuel. Les résultats ont montré deux rythmes d'évolution très distincts. Un rythme de changement rapide caractérisant la baisse de représentation corticale et un rythme plus lent caractérisant la baisse de la densité des cônes en fonction de l'excentricité en degrés.

Par analogie avec ces rythmes caractérisant l'évolution de la représentation corticale et celle de la densité des cônes, (Levi et al. (1985)) ont proposé deux échelles d'agrandissement pour deux types de tâches visuelles. Une échelle pour les tâches de discrimination de position qui sont plus contraintes par des facteurs corticaux et donc nécessitent un facteur d'agrandissement plus important que celui proposé par Rovamo et Virsu. Une deuxième échelle pour les tâches de détection de contraste et de résolution de

réseaux qui sont plus contraintes par des facteurs rétiniens et peuvent être égalisées par le facteur d'agrandissement proposé par Rovamo et Virsu. Ces conclusions donnent une explication convainquante des résultats de plusieurs études notamment celle de Saarinen et al. (1989), Strasburger et al. (1990) et Farrel et Desmarais (1990).

Toutefois, l'explication proposant deux échelles d'agrandissement selon le type de tâche est controversée. En effet, contrairement au modèle à échelle double Levi et al. (1985) et en accord avec le modèle à échelle unique (Rovamo & Virsu, 1989), les résultats de Higgins, Arditi et Knoblauch (1996) ont montré qu'un **même facteur d'agrandissement** permettait d'égaliser les performances d'une tâche de discrimination de position (identification de lettres symétriques) et celles d'une tâche de détection de contraste à travers l'excentricité rétinienne.

Ainsi, notre premier objectif sera de vérifier si les résultats de Higgins et al. (1996) sont généralisables à d'autres lettres et à d'autres positions dans le champ visuel. Nous étudierons deux types de tâches visuelles (détection et identification) à trois excentricités, notre but étant de comparer les échelles permettant leur égalisation à travers le champ visuel. Les résultats nous permettront d'argumenter en faveur d'un modèle à échelle unique ou d'un modèle à double échelle.

Afin d'étudier une situation qui se rapproche le plus de la réalité du monde visuel dans lequel nous nous repérons, notre deuxième objectif sera d'étudier la perception d'une cible présentée en périphérie dans un environnement chargé. En effet, un stimulus présenté seul est plus facile à identifier que lorsqu'il est entouré par d'autres éléments (Flom, Weymouth & Kahnemann, 1963). L'identification d'une cible en présence d'un pourtour devient de plus en plus difficile à mesure que le stimulus (cible et pourtour) s'éloigne dans le champ visuel périphérique même en tenant compte de l'agrandissement cortical (Anstis, 1974).

- g (A)
  
- q g p (B)

En fixant le point ci-dessus, on perçoit la lettre 'g' dans la condition A alors que la même lettre ayant la même taille et le même contraste, présentée au milieu de deux autres lettres, ne peut plus être perçue dans la condition B. C'est l'effet de **groupement** (crowding en anglais).

L'effet de groupement ou la difficulté à discriminer un stimulus dans un environnement chargé dépend de deux facteurs : la distance (Flom et al., 1963; Jacobs, 1979; Loomis, 1978) et aussi le degré de similarité (Kooi, Toet, Tripathy & Levi, 1994; Leat, Li & Epp, 1999; Nazir, 1991) entre la cible et le pourtour. Nous étudierons ces deux facteurs dans la même expérience en utilisant un stimulus structuré de segments Gabor. Grâce à leurs fréquences spatiales et leurs orientations localisées (explication plus loin dans le texte) les segments Gabor permettent une manipulation locale du stimulus.

Cette étude nous permettra de comprendre les caractéristiques de l'effet de

groupement en vision périphérique. Nous comparerons nos résultats obtenus dans la périphérie à 10 degrés d'angle visuel dans le champ visuel inférieur à ceux obtenus dans la fovéa avec les mêmes stimuli. Les résultats de cette étude de la vision périphérique constitueront une argumentation en faveur d'un sous échantillonnage de récepteurs rétiniens ou corticaux (Levi et al., 1985) ou d'un bruit de positionnement des cônes rétiniens ou des champs récepteurs corticaux (Hess & Field, 1993).

Une expérience sera consacrée à l'apprentissage perceptif. Plusieurs études utilisant différentes tâches visuelles ont observé une amélioration des performances après un certain nombre de sessions réalisé par l'observateur, notamment lorsque les stimuli étaient présentés en vision périphérique. L'effet de pratique permettant une amélioration des performances est appelé **apprentissage perceptif**.

Le but de cette expérience est triple. Le premier est de comprendre le mécanisme de l'apprentissage perceptif dans une tâche de détection d'un signal selon un prototype inconnu de l'observateur. Le deuxième est d'appliquer une nouvelle méthode d'apprentissage proposée récemment par Ahumada (1996). Le troisième but est de poser les fondements d'une future étude d'apprentissage perceptif dans la partie périphérique du champ visuel.

En conclusion, à partir des résultats de nos expériences portant sur la détection, l'identification de lettres symétriques et sur l'effet de groupement en périphérie nous donnerons des arguments en faveur d'un **modèle à échelle unique ou un modèle à double échelle**. Nous présenterons des arguments en faveur d'une **différence quantitative ou qualitative entre la vision fovéale et la vision périphérique**. L'expérience sur l'apprentissage perceptif en vision centrale nous renseignera sur l'évolution de l'acquisition d'un prototype lorsque celui-ci est inconnu de l'observateur.

## Organisation de la thèse

Le plan de ce rapport de thèse est organisé de la façon suivante. La **première partie** traite de l'anatomie et de la physiologie du système visuel et elle est composée de trois chapitres. **Le premier chapitre** est consacré à la rétine et aux cellules qui la composent. **Le deuxième chapitre** au corps géniculé latéral et à ses différentes couches. **Un troisième chapitre** concerne le cortex visuel notamment l'aire V1. Ce chapitre met la lumière sur les différences physiologiques et anatomiques entre les parties du système visuel représentant le centre versus la périphérie du champ visuel.

La **deuxième partie** est une revue des études et données fonctionnelles obtenues dans différentes tâches visuelles. Dans cette partie, nous abordons dans **un premier chapitre** les concepts de la vision spatiale nécessaires pour le développement de nos expériences et l'introduction à notre problématique. **Le deuxième chapitre** sera consacré à un exposé bibliographique sur les tâches de détection et d'identification. **Le troisième chapitre** abordera les études antécédentes sur l'effet de groupement. **Le cinquième chapitre** sera consacré aux études sur l'apprentissage perceptif et la présentation de la

technique d'Ahumada (1996).

La **troisième partie** comporte 4 chapitres. **Le premier chapitre** présente la méthode psychophysique utilisée dans nos différentes expériences. **Le deuxième** présente l'analyse des résultats et les conclusions concernant l'étude de deux tâches visuelles : détection et identification à trois excentricités différentes. **Le troisième** présente les résultats de l'étude de l'effet de groupement dans la périphérie inférieure du champ visuel. L'étude de l'apprentissage perceptif fera l'objet du **quatrième chapitre**.

La conclusion générale discutera les résultats à la lumière des études précédentes et présente les arguments en faveur d'un changement qualitatif ou quantitatif à travers le champ visuel. Elle expliquera les différences entre nos résultats et ceux de la littérature et proposera une nouvelle technique d'étude de l'indice de l'apprentissage perceptif.

# Partie I

## Chapitre 1. Structure de la rétine

*“ L’enfant est petit, et il renferme l’homme ; le cerveau est étroit et il abrite la pensée ; l’œil n’est qu’un point et embrasse des lieues ”*

*Alexandre Dumas (Fils), ‘La Dame aux camélias’ Chapitre III*

L’étude psychophysique présente se base dans ses conclusions sur les caractéristiques anatomiques et physiologiques du système visuel. Ainsi, avant de présenter nos expériences nous avons jugé d’une grande importance de commencer par une introduction anatomique et physiologique mettant en évidence la différence entre la représentation centrale et la représentation périphérique du champ visuel.

En arrivant sur l’œil, la lumière traverse en premier lieu la cornée et le cristallin qui la font converger afin de créer une image sur la rétine. La rétine est un tissu structuré de multiples couches neuronales qui traitent de façon active les signaux lumineux provenant du monde extérieur.

La rétine contient 5 catégories de neurones différant par l’emplacement de leur corps cellulaire, leurs prolongements dendritiques et aussi par leurs terminaisons axonales. Il s’agit des photorécepteurs, des cellules bipolaires, des cellules amacrines, des cellules

horizontales et des cellules ganglionnaires (Rodieck, 1998) (cf. figure1).

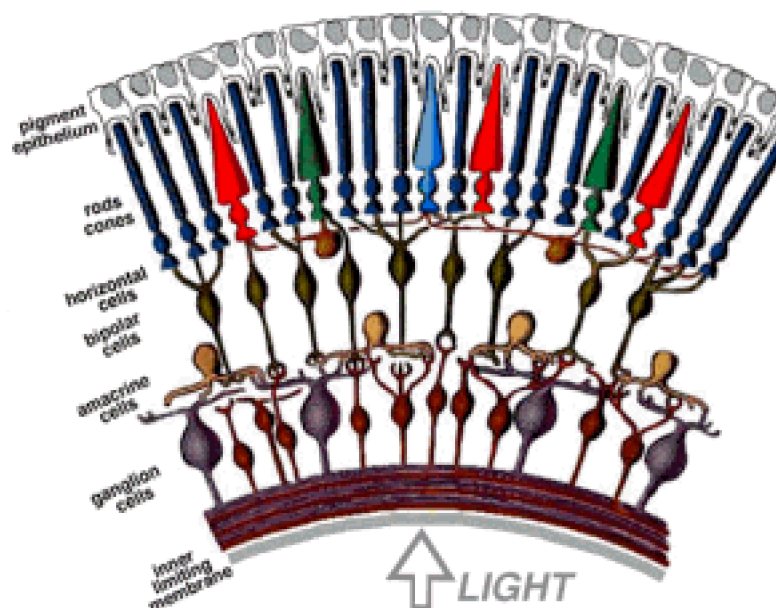


Figure 1. Représentation des différentes couches cellulaires constituant le tissu de la rétine. La flèche en bas indique l'entrée de la lumière. Tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/schem.jpeg>

La partie centrale de la rétine se caractérise par une anatomie qui la distingue de la partie périphérique. Cette différence concerne : 1) la distribution des cônes et des bâtonnets, 2) l'organisation de la connexion avec les cellules ganglionnaires (divergente au centre et de plus en plus convergente en périphérie).

## 1.1. Deux types de photorécepteurs

Tant dans la partie centrale que dans la partie périphérique de la rétine, les premiers éléments à absorber la lumière sont les photorécepteurs.

La lumière passe à travers le segment interne ensuite dans le segment externe qui contient les photopigments qui absorbent la lumière. Arrivée dans le segment externe, la lumière sera ou bien absorbée par une molécule de photopigment ou bien elle continuera son chemin et quittera le segment. Les pigments des photorécepteurs n'absorbent que 10 pour cent de la lumière entrant dans l'œil (Baylor, 1987).

La rétine humaine est composée de deux types de photorécepteurs: les **cônes** et les **bâtonnets**. Il y a 5 millions de cônes et 100 millions de bâtonnets dans chaque œil humain. Ces deux types de photorécepteurs assurent une vision à des niveaux de luminance différents. Cependant, ils peuvent assurer une vision à un niveau intermédiaire de luminance appelé **mésopique**.

### 1.1.1. Cônes

Ce type de photorécepteurs assure la vision sous un niveau de luminance élevé, appelé



vision **photopique** ou vision de jour et se caractérise par un temps de réponse très rapide de l'ordre de 75 millisecondes (msec). La fovéola, la partie centrale de la rétine est composée uniquement de cônes (Rodieck, 1998).

Les cônes sont de trois types : le type L est plus sensible aux longues longueurs d'onde de la lumière, le type M est plus sensible aux moyennes longueurs d'onde et le type S (pour short en anglais) qui est plus sensible aux courtes longueurs d'ondes.

### 1.1.2. Bâtonnets

Les bâtonnets assurent la vision sous des niveaux de luminance très bas, appelée vision **scotopique** et se caractérisent par une réponse très lente de l'ordre de 300 msec. Les bâtonnets atteignent leur pic de concentration à 20 degrés de la fovéa du côté nasal ainsi que du côté temporal.

## 1.2. Distribution des photorécepteurs sur la rétine.

---

La figure 2 représente la distribution des cônes et des bâtonnets à travers les 70° temporaux et 90° nasaux. Ces deux types de photorécepteurs se distribuent de façon différente à travers la rétine. La densité des cônes baisse de façon plus rapide que celle des bâtonnets sur la partie centrale de la rétine. Plus loin, dans la périphérie, c'est la densité des bâtonnets qui baisse plus rapidement.

Le rapport bâtonnets/cônes augmente de façon linéaire à partir du centre de la fovéa jusqu'à une excentricité de 0.5 mm (1.7 degrés) ; distance à laquelle le nombre de bâtonnets est égal à celui des cônes. A une excentricité très proche ce rapport change subitement, Wikler, Williams et Rakic (1990) ont trouvé 10 fois plus de bâtonnets que de cônes à une excentricité de 1.5 mm. Ils ont trouvé aussi un rapport stable de 20 bâtonnets pour 1 cône sur l'aire qui s'étend de 3 mm de la fovéola jusqu'à 15 mm en périphérie.

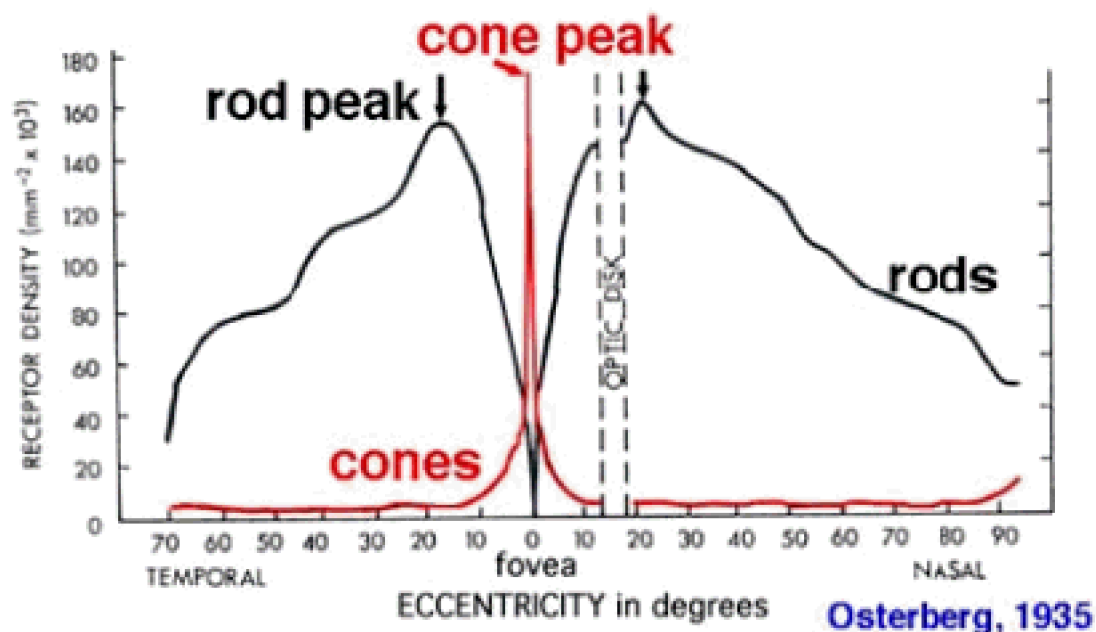


Figure 2. Représentation de la densité des photorécepteurs en fonction de l'excentricité rétinienne. (cones : cônes ; rods : bâtonnets).

Tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/Ostergr.jpeg>

### 1.2.1. Distribution des cônes

La densité des cônes (nombre de cônes par mm<sup>2</sup>) dans la rétine humaine ainsi que dans la rétine du singe atteint son maximum au centre de la fovéa et baisse en fonction de l'excentricité rétinienne (Øesterberg, 1935; Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987; Adams, Perez & Hawthorne, 1974; Borwein, Borwein, Medeiros & McGowan, 1980; Perry & Cowey, 1985; Rolls & Cowey, 1970; de Monasterio, McCrane, Newlander & Schein, 1985; Webb & Kaas, 1976). Comme le montre la figure 2, on observe une densité très élevée des cônes au centre de la rétine (0°) qui baisse de façon rapide en fonction de l'excentricité. La densité des cônes chute de façon plus rapide le long du méridien vertical que le long du méridien horizontal (Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987). Cette dissymétrie n'est pas présente au niveau de la distribution des bâtonnets.

Plusieurs études ont montré que la densité des cônes est plus haute dans la partie nasale de la rétine que dans sa partie temporale (Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987; Øesterberg, 1935; Perry & Cowey, 1985; Wikler, Williams & Rakic, 1990; Packer, Hendrickson & Curcio, 1989).

Dans la partie fovéale de la rétine, les cônes sont organisés de façon divergente, un cône envoie son message à 1 voire 4 cellules ganglionnaires. Sous les conditions photopiques, les cônes assurent une haute résolution spatiale et donc une meilleure acuité visuelle aux dépens d'une basse sensibilité à la lumière.

### 1.2.2. Distribution des bâtonnets

Contrairement à la distribution des cônes, la distribution des bâtonnets par  $\text{mm}^2$  augmente de la fovéa vers la périphérie et atteint son maximum à  $15^\circ$ - $20^\circ$  environ (cf. figure 2). A partir de ces deux pics, le nombre de bâtonnets par  $\text{mm}^2$  baisse de façon plus lente que pour les cônes.

La densité des bâtonnets est plus importante dans la partie supérieure de la rétine située à 4-5 mm en haut de la fovéa que dans la partie inférieure (Wikler, Williams & Rakic, 1990). A noter que le pic de densité des cônes dans la fovéa (Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987) et celui des bâtonnets à travers la rétine (Wikler et al., 1990) varient selon les individus.

L'organisation convergente de la projection des bâtonnets sur les cellules ganglionnaires leur permet une haute sensibilité à la lumière ; c'est l'effet de **sommation**. Cette haute sensibilité à la lumière est assurée aux dépens d'une très basse acuité visuelle en périphérie rétinienne.

### 1.3. Effet de sommation

L'effet de sommation correspond à la capacité de la rétine à sommer ou à additionner des quanta de lumière sur une certaine aire. L'aire sur laquelle cette sommation est effectuée est dénommée **le diamètre critique**. Selon la loi de Ricco, dans ce diamètre critique le seuil d'activation est atteint lorsque le total de l'énergie de la luminance atteint ou dépasse une constante. Cette dernière est le produit de la luminance et de l'aire occupée par le stimulus.

La loi de Ricco montre une aire critique de 30 minutes d'arc dans la partie périfovéale ( $4$  à  $7^\circ$ ) et une aire maximale de 120 minutes d'arc à une excentricité de  $35^\circ$  (Davson, 1990).

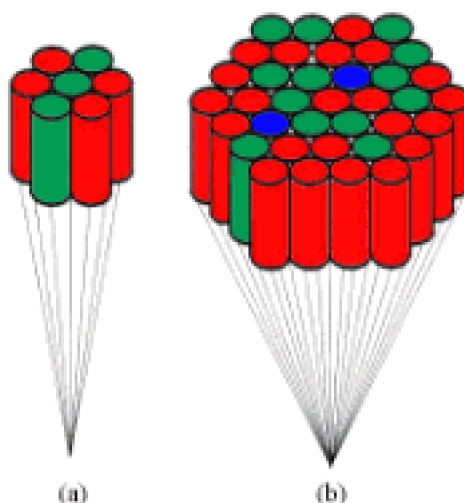


Figure 3. Représentation de la sommation à travers la rétine. (a) sommation dans la partie périfovéale. (b) Sommation dans la partie périphérique de  $35^\circ$ . Les différentes couleurs

*montrent les trois types de cônes composant la rétine.*

Figure tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html>

La sommation spatiale est due à l'organisation convergente des photorécepteurs sur les cellules ganglionnaires. Cette convergence de plusieurs photorécepteurs forme un champ récepteur qui véhicule un seul signal. La taille du champ récepteur augmente en fonction de l'excentricité, (cf. figure 3), ceci explique pourquoi l'aire critique augmente en fonction de l'excentricité (Shapley & Enroth-Cugell, 1984). Ainsi, la sommation spatiale limite les capacités de résolution à travers la rétine, puisqu'un signal reçu en périphérie n'est pas envoyé en tant que tel, mais en tant qu'une somme de plusieurs signaux.

## **2.1. Différents types de cellules ganglionnaires**

---

Les cellules ganglionnaires constituent le système le plus complexe du traitement de l'information dans la rétine des vertébrés. Il y a environ 30 types de cellules ganglionnaires (Rodieck, 1998) mais trois types sont plus particulièrement étudiés.

En fonction de leur morphologie et leur fonction, les cellules ganglionnaires forment trois types distincts. Les cellules p- $\alpha$  (cellules parasol), les cellules p- $\beta$  (cellules naines) et les cellules bistratifiées.

Chez le primate, les cellules ganglionnaires constituent deux populations de fonctions bien distinctes et se projettent sur des couches différentes du corps géniculé latéral (CGL). Il s'agit de deux systèmes : parvocellulaire et magnocellulaire qui se poursuivent au niveau du cortex visuel.

### **2.1.1. Cellules ganglionnaires p- $\alpha$ ou parasol**

Les cellules alpha ou parasol, plus denses en périphérie rétinienne qu'en fovéa (Shapley & Perry, 1986), ont un champ récepteur et un corps cellulaire de plus grande taille que ceux des cellules naines (Rodieck, 1998). Elles ne codent pas le contraste chromatique mais sont très sensibles aux faibles niveaux de contraste de luminance et aux variations rapides de contraste dans leur champ récepteur, par exemple des papillotements lumineux (Lee, Martin & Valberg, 1988). La plupart des cellules parasol se projettent sur les couches magnocellulaires du CGL (Perry, Oehler & Cowey, 1984; Watanabe & Rodieck, 2001).

### **2.1.2. Cellules ganglionnaires p- $\beta$ ou naines**

Les cellules bêta ou naines ont un petit corps cellulaire, un petit champ récepteur et sont activées par un ou plusieurs cônes. Ces cellules sont impliquées dans la vision des couleurs et de l'acuité visuelle. Elles sont plus présentes au centre de la rétine qu'en sa périphérie (Shapley & Perry, 1986) et constituent 70 % des 1.25 millions de cellules ganglionnaires de la rétine humaine (Rodieck, 1998). La plupart des cellules naines se projettent sur les couches parvocellulaires du CGL (Perry, Oehler & Cowey, 1984; Watanabe & Rodieck, 2001).

### 2.1.3. Cellules ganglionnaires p-γ, bistratifiées (Konio)

Les cellules ganglionnaires bistratifiées constituent 10% de la population totale des cellules ganglionnaires chez le primate. Dacey (1993) et Dacey et Lee (1994) ont montré que toutes les cellules bistratifiées ont des entrées de type S excitatrices. Ces cellules projettent leur information sortante sur les couches koniocellulaires du CGL (Rodieck & Watanabe, 1993).

Les cellules ganglionnaires envoient leur message au cerveau sous forme de *potentiel d'action* (Rodieck, 1998). L'avantage des potentiels d'action est la constance du message quelle que soit la distance à parcourir.

## 2.2. Distribution des cellules ganglionnaires à travers la rétine

Chez les vertébrés, les régions riches en cônes sont riches aussi en cellules ganglionnaires (Hughes, 1981; Long & Fisher, 1983; Packer, Hendrickson & Curcio, 1989; Steinberg, Reid & Lacy, 1973; Stone, 1978; Stone & Johnston, 1981; Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987; Perry & Cowey, 1985). Le nombre de cellules ganglionnaires change en fonction de l'excentricité. Dans la rétine centrale, ce nombre est 1000 fois supérieur à celui des cellules ganglionnaires de la rétine périphérique (Wässle, Grünert, Röhrenbeck & Boycott, 1990).

La baisse de la densité des cellules ganglionnaires en fonction de l'excentricité est moins brusque dans la partie nasale que dans toutes les autres parties de la rétine (Silveira et al., 1989). Curcio et Allen (1990) ont trouvé aussi une supériorité de la densité des cellules ganglionnaires dans la partie supérieure de la rétine comparée à la partie inférieure. La dissymétrie naso-temporale de la distribution des cellules ganglionnaires a été confirmée chez les sujets humains (Stone & Johnston, 1981; Van Buren Van Buren, 1963) et chez les singes (Perry & Cowey, 1984; Rolls & Cowey, 1970; Stone & Johnston, 1981) (Rolls & Cowey, 1970; Stone & Johnston, 1981).

La distribution de ces cellules est dissymétrique : plus dense sur l'axe horizontal que sur l'axe vertical de la rétine (Hughes Crescitelli, 1977) et plus dense dans la rétine nasale que dans la rétine temporale (Curcio & Allen, 1990). L'espacement entre cellules ganglionnaires dans la fovéa est de 0.5 min. d'arc alors qu'en périphérie de 10° la séparation est de 150 min. (Perry & Cowey, 1985).

La distribution des cellules ganglionnaires diffère de celle des cônes en se déplaçant du centre vers la périphérie, car la baisse de la densité des cellules ganglionnaires est plus rapide que celle de la densité des cônes (Perry & Cowey, 1985). Ceci reflète l'augmentation de l'organisation convergente des cônes sur les cellules ganglionnaires dans la rétine périphérique.

Wässle, Grünert, Röhrenbeck et Boycott (1990) ont trouvé un rapport de 4 cellules ganglionnaires par cône dans la rétine fovéale. Ce rapport sous tend une organisation divergente ; c'est-à-dire que l'information provenant d'un seul cône est transférée sur au moins 4 cellules ganglionnaires. Ce rapport baisse en fonction de l'excentricité ; à une périphérie de 3 degrés temporaux et 4 degrés nasaux il est d'environ 2 cellules

ganglionnaires par cône. A une excentricité de 14 deg. temporaux et 20 deg. nasaux ce rapport tend vers 1. A une excentricité plus lointaine il y a plus de cônes que de cellules ganglionnaires indiquant une organisation convergente, c'est-à-dire que plusieurs cônes transmettent leur information au cerveau via une seule cellule ganglionnaire.

### 2.2.1. Cellules ganglionnaires et performances visuelles

La dissymétrie de la densité des cônes et des cellules ganglionnaires à travers la rétine a un impact sur les performances visuelles (Fahle & Schmid, 1988; Oehler, 1985; Perry & Cowey, 1984). En effet, une dissymétrie naso-temporale des performances visuelles a été observée dans des tâches psychophysiques telles que dans l'acuité visuelle (Fahle & Schmid, 1988; Sireteanu & Fronius, 1981; Rovamo, Virsu, Laurinen & Hyvarinen, 1982), la sensibilité au contraste (Rovamo, Virsu, Laurinen & Hyvarinen, 1982), l'hyperacuité (Fahle & Schmid, 1988) et l'identification de lettres et la lecture de mots (Bouma, 1973). Les stimuli présentés dans la partie temporale du champ visuel sont mieux résolus puisque ils sont projetés sur la partie nasale.

### 2.2.2. Cellules ganglionnaires et acuité visuelle

L'acuité visuelle (la capacité du système visuel à résoudre le plus petit détail spatial) est très proche de l'acuité estimée à partir de la densité des cellules ganglionnaires (Hughes Crescitelli, 1977b; Pettigrew, Dreher, Hopkins, McCall & Brown, 1988). En effet, plus petit est le corps cellulaire des cellules ganglionnaires et plus élevé est leur nombre, meilleure est l'acuité visuelle.

Une question importante se pose : *une rétine possédant un plus grand nombre de cellules ganglionnaires permettrait-elle une acuité visuelle supérieure?*

Gianfranceschi, Fiorentini et Maffei (1999) ont comparé l'acuité visuelle des souris sauvages à celle d'une souche de souris transgéniques. Ces dernières ont pour caractéristique une sur-représentation du gène humain *bcl2* dans la majorité de neurones de leur système nerveux central. Le gène *bcl2* code une protéine qui protège la cellule de l'apoptose<sup>1</sup> et contrôle sa mort, la conséquence est que le cerveau de ces souris est 1.5 fois plus grand que celui des souris sauvages. Le nerf optique a deux fois plus de fibres que chez les souris sauvages et la densité des cellules ganglionnaires est bien plus importante (Gianfranceschi et al., 1999).

Les souris sauvages ont un pic de densité des cellules ganglionnaires de 4500 CG par mm<sup>2</sup>, tandis que chez les souris transgéniques *bcl-2* ce pic est de 10100 CG par mm<sup>2</sup> (Gianfranceschi et al., 1999).

Les auteurs ont utilisé une tâche psychophysique à choix forcé à deux alternatives spatiales. Il fallait que les souris choisissent entre deux réseaux sinusoidaux de même fréquences spatiales; l'un horizontal et l'autre vertical. Ce dernier était considéré comme le choix correct donnant lieu à une récompense accordée à la souris.

---

<sup>1</sup> Apoptose : mort programmée et naturelle des cellules à cause de facteurs internes à la cellule, contraire de nécrose qui signifie mort non programmée des cellules à cause de facteurs externes.

Les résultats de cette étude montrent que l'acuité visuelle chez les souris transgéniques est égale à celle des souris sauvages, l'augmentation de la densité des cellules ganglionnaires n'a pas augmenté l'acuité visuelle des souris. A signaler que le nombre de cônes chez les souris transgéniques est resté le même que chez les souris sauvages. Il serait d'un grand intérêt de pouvoir réaliser une étude chez des souris transgéniques ayant le même type d'organisation entre cônes et cellules ganglionnaires que chez les souris sauvages mais avec une plus grande densité des deux types de cellules (ganglionnaires et cônes).

## 2.4. Facteur d'agrandissement rétinien

Le facteur d'agrandissement rétinien est *l'étendue de la rétine en  $\square$  m consacrée à un degré d'angle visuel*. La projection du champ visuel sur la rétine n'est pas linéaire ; c'est-à-dire qu'un degré d'angle visuel est sous-tendu par une surface plus importante en fovéa qu'en périphérie (Drasdo & Fowler, 1974; Holden, Hayes & Fitzke, 1987). En utilisant la technique de **lancé de rayons**<sup>2</sup>, plusieurs études ont montré que, chez l'homme, l'agrandissement rétinien diminue du centre vers la périphérie (Drasdo & Fowler, 1974; Lotmar, 1983; Kooijman, 1983).

Des estimations empiriques de l'agrandissement rétinien peuvent être obtenues à partir de la comparaison entre la distance du périmètre ou la taille du stimulus projeté sur la rétine (i.e., angle visuel) et la distance histologique (la surface de la rétine) sur laquelle le stimulus est représenté. La distance entre la fovéa et le centre du point aveugle est de 4.28 mm (Holden, Hayes & Fitzke, 1987; Straatsma Straasma, Allen, Hall & Crescitelli, 1969), et elle correspond à 15.5 degrés d'arc (Traquair Traquair, 1938). Un simple calcul  $((4.28 \times 1000) / 15.5)$  nous donne un facteur d'agrandissement rétinien de 276  $\square$ m/deg. Ce facteur baisse dans la périphérie de la rétine, par exemple dans la partie la plus périphérique de la rétine il est de 175  $\square$ m/° (Holden, Hayes & Fitzke, 1987). On remarque, ainsi, une baisse de 63% du facteur d'agrandissement rétinien en allant de la fovéa vers la périphérie. A noter que ce rapport est le même chez le nouveau-né (Lotmar, 1976) et chez l'adulte (Holden et al., 1987)

## 2.5. Caractéristiques du champ récepteur des cellules ganglionnaires

Le champ récepteur des cellules ganglionnaires est concentrique et possède un sous-champ récepteur central et un autre sous-champ périphérique entourant le premier. Lorsque la partie centrale de la cellule est excitée par une luminance il s'agit d'une cellule à **centre ON** et lorsque c'est l'extinction de la lumière qui provoque son excitation il s'agit d'une cellule à **centre OFF**. Il s'agit de l'antagonisme spatial ou l'inhibition latérale (Kuffler, 1953). Ceci indique qu'une même lumière envoyée à une partie du CR d'une cellule a un effet opposé lorsqu'elle est projetée sur une autre partie de cette même cellule. La réponse de la cellule ganglionnaire est très faible lorsqu'un champ de lumière

<sup>2</sup> - Technique qui repose sur l'estimation du trajet inverse des rayons lumineux qui atteignent l'œil, ce qui permet de reconstruire en 3D une scène visuelle réaliste connaissant les propriétés des surfaces rencontrées et des sources de lumière.

uniforme couvre son centre et son pourtour.

Les cellules ganglionnaires sont plus sensibles au degré de contraste lumineux entre le centre et la périphérie de leur CR qu'à une lumière diffuse. Gouras et Charles (2000) proposent que cette sensibilité au contraste est le résultat des interactions antagonistes des cellules horizontales dans la couche plexiforme externe et des cellules amacrines dans la couche plexiforme interne.

## Chapitre 2. Structure sous corticale

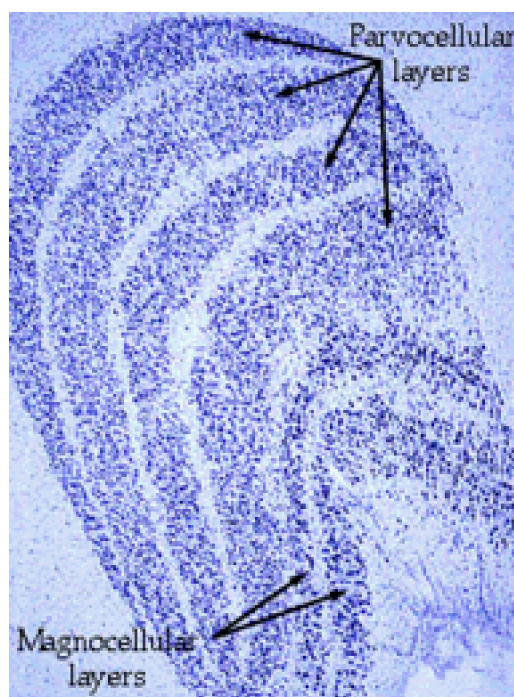
Les axones des cellules ganglionnaires quittent la rétine et forment le nerf optique dont les prolongements se terminent dans le corps géniculé latéral (CGL) et le colliculus supérieur.

### 1.1. Le Corps Géniculé Latéral dorsal (CGLd)

---

Les axones des cellules ganglionnaires convergent afin de former le nerf optique qui se projette sur plusieurs structures dont le corps géniculé latéral. Seule sa partie dorsale (CGLd) appartient entièrement aux voies visuelles et c'est elle qui sera décrite dans ce chapitre.

Deux facteurs dominent l'organisation du CGLd : la **stratification** en référence à sa structure laminaire et la **rétinotopie** en référence à sa représentation du champ visuel. Ces deux facteurs sont le résultat d'un principe général, celui du groupement de neurones présentant des propriétés fonctionnelles voisines (Erwin, Baker, Busen & Malpeli, 1999; Hubel, 1994).





---

*Figure 4. Couches Magnocellulaires et Parvocellulaires du CGL.*

Figure tirée du site: <http://webvision.med.utah.edu/VisualCortex.html#maps>

Comme le montre la figure 4, le CGLd a une forme laminaire caractéristique qui lui permet de classer et de mettre en registre les informations qui lui sont communiquées par les cellules ganglionnaires. Ainsi, le CGLd conserve la séparation entre les neurones innervés par les cellules rétinienne de type parasol, naines et bistratifiées en différentes couches cellulaires et met en registre les représentations de l'hémi-champ visuel controlatéral pour chacune de ces catégories (Bullier, 1998).

Chez l'homme et chez la plupart des primates, le CGLd comporte six couches cellulaires superposées, numérotées de 1 à 6 dans le sens ventrodorsal. Les couches 1 et 2, dites Magnocellulaires (M) et les couches 3 à 6, dites Parvocellulaires (P), contiennent des neurones relais respectivement de grandes et petites tailles (Cesaro, Kavel, Ollat, Peschanski & Sindou 1997). Les cellules Koniocellulaires (K) sont situées entre les couches M et P.

### **1.1.1. Couches parvo, magno et koniocellulaires**

Les cellules de la couche P, innervées par les cellules naines de la rétine, relaient l'information concernant la vision des couleurs et des détails fins. Leurs champs récepteurs sont de petite taille et sont sensibles aussi bien au contraste de luminance qu'au contraste des couleurs en condition d'isoluminance (i.e., tous les stimuli ont le même niveau de luminance mais diffèrent par leur longueur d'ondes).

Contrairement aux neurones P, les neurones M, innervés par les cellules ganglionnaires parasol de la rétine, répondent de façon vigoureuse à de hautes fréquences temporelles (e.g., papillotement) et à de faibles niveaux de contraste. Les neurones K relaient l'information provenant des neurones bistratifiées qui se projettent sur les couches interlaminaires du CGLd et ont des propriétés mal connues (Hendry & Yoshioka, 1994).

Les cellules M, P et K se différencient aussi par la latence de leur réponse aux stimuli visuels. Les cellules M commencent à répondre 50 msec après l'apparition d'un stimulus, alors que les cellules P répondent 70 msec après le stimulus, les réponses des cellules K viennent 10 msec après la réponse des cellules P (Bullier, 1998).

### **1.1.2. Différence Parvo et Magno**

Les signaux provenant de l'environnement visuel sont traités de façon parallèle par les différents types de neurones. Ce n'est que dans des situations de stimuli finement contrôlés qu'un groupe de neurones d'un type donné peut être activé sélectivement. Par exemple, dans le cas de stimuli de hautes fréquences spatiales de plus de 30 cycles par degré ou de stimuli colorés isoluminants (c'est-à-dire dans des conditions telles que tout contraste de luminance est éliminé et que la détection des contours ne peut se faire que par des différences de longueur d'ondes) les neurones P sont les seuls à répondre (Schiller & Logothetis, 1990). Lorsque le stimulus a un contraste faible (moins de 8%) ou structuré de hautes fréquences temporelles (de plus de 30 cycles par seconde) le canal M

est le seul à fonctionner. Strasburger, Rentschler et Harvey (1994) proposent que la voie magnocellulaire soit probablement le médiateur exclusif de la reconnaissance de formes lorsque celles-ci sont présentées à très faible contraste.

Chaque neurone relais du CGLd reçoit des afférences de plusieurs cellules ganglionnaires et chaque cellule ganglionnaire contacte plusieurs neurones relais du CGLd. Ces organisations **divergentes** et **convergentes** sont plus marquées pour les cellules de type M dont les arborisations axonales sont plus développées que celles des cellules de type P.

En terme de nombre de cellules, il y a une différence entre la densité des cellules dans les couches P et M. En périphérie de 80°, il y a 4 cellules P pour une cellule M. Cependant, dans la partie centrale à 1° il y a 40 cellules de type P pour une cellule de type M.

Aussi bien dans la voie M que dans la voie P, le nombre de cellules recevant des entrées de l'œil controlatéral est supérieur à celui des cellules recevant des entrées de l'œil ipsilatéral (Malpeli & Baker, 1996).

### 1.3. Facteur d'agrandissement du CGLd

---

Le facteur d'agrandissement du CGLd est calculé en terme de nombre de cellules/mm<sup>2</sup>. Chez le singe, les expériences anatomiques et physiologiques ont montré que les projections de la rétine sur le CGLd sont organisées de façon topographique. Cette organisation n'est pas homogène, car la partie centrale du champ visuel est sur-représentée comparée aux zones périphériques.

**Tableau 1. Données tirées de Malpeli et Baker (1975)**

Degré d'excentricité	Volume CGL mm <sup>3</sup>	Angle solide	Cellules/mm <sup>2</sup>
1°	2.2	0.00047	3407
20°	49.5	0.18976	59
40°	63.7	0.73496	14
60°	71.3	1.57046	5.7

Comme le montre le tableau ci-dessus, à une excentricité de 1° le facteur d'agrandissement est de 3407 cellules/mm<sup>2</sup>, à 60° il est de 5.7 cellules/mm<sup>2</sup>.

### 1.4. Représentation du champ visuel sur le CGL

---

Les fibres croisées issues du champ rétinien nasal controlatéral se distribuent dans les couches 1, 4 et 6. Les fibres directes issues du champ rétinien temporal ipsilatéral se distribuent dans les couches 2, 3 et 5 (Malpeli & Baker, 1975). " L'innervation du CGL est organisée de telle sorte qu'une même région du champ visuel est traitée par les champs récepteurs des neurones situés dans des couches adjacentes, c'est-à-dire qu'un stimulus présenté dans un héli-champ visuel active les neurones alignés le long d'une ligne perpendiculaire aux couches du CGL controlatérales " (Bullier, 1998). Lorsqu'on se

déplace dans les zones binoculaires périphériques, plus loin que le disque optique, il reste 4 couches : 2 parvocellulaires et 2 magnocellulaires.

La vision centrale est représentée sur les 6 couches du CGL, le reste de la vision binoculaire est représenté sur 4 couches (2 parvo et 2 magno) (étant donné que les couches parvo 4 et 5 sont restreintes à la représentation des 15° centraux uniquement). La partie monoculaire, la plus excentrique, est représentée sur deux couches (1 magno et 1 parvo) (Malpeli & Baker, 1975).

## 1.5. Synthèse de la structure sous-corticale

En conclusion, l'organisation des cellules du système visuel continue à s'affiner au niveau du CGLd. Les couches sont empilées de telle sorte que les cellules reliées à l'œil droit alternent avec les cellules reliées à l'œil gauche. Par exemple dans le CGLd latéral gauche du haut vers le bas, les six couches reçoivent successivement les informations de l'œil gauche, droit, gauche, droit, droit, gauche. Cette organisation fonctionnelle au niveau du CGLd facilitera l'analyse qui aura lieu au niveau du cortex visuel primaire (Connolly & Van Essen, 1984).

Le CGLd a aussi un rôle important dans l'amplification du facteur d'agrandissement. En effet, la partie du CGLd vouée au traitement du champ visuel central est encore plus importante que la partie de la rétine vouée au traitement de cette même zone. Cette grande expansion du dispositif cellulaire voué au traitement du champ visuel central serait une fonction importante du CGLd dans le traitement de l'information visuelle au long de la voie visuelle primaire (Malpeli & Baker, 1975).

Ainsi, avant de quitter le CGL, l'information a déjà plusieurs caractéristiques qu'elle va garder tout au long des étapes ultérieures de son traitement. Ses caractéristiques sont : le lieu de sa provenance du champ visuel et de la rétine, la vitesse de sa transmission, le codage des fréquences spatiales et temporelles et sa luminance.

Les fibres issues des six couches du CGL forment les **radiations optiques** qui se terminent dans le cortex visuel primaire. Là, les fibres se redistribuent de façon ordonnée de la même façon que le nerf optique s'ordonne dans le CGL.

## Chapitre 3. Structure Corticale

Dans un premier chapitre, nous avons présenté l'anatomie et la physiologie de la rétine. Dans le second chapitre nous avons présenté le CGLd qui reçoit l'information visuelle et la relaie aux structures corticales.

Dans ce troisième chapitre, nous aborderons l'aire visuelle primaire. D'abord, ses différents types de connexions intrinsèques et extrinsèques. Ensuite, les deux voies principales du système visuel : la voie dorsale et la voie ventrale. Enfin, les caractéristiques physiologiques des cellules corticales et leur sélectivité à l'orientation et aux fréquences spatiales (FS).

## 1.1. Anatomie de l'aire visuelle primaire (V1)

---

L'aire visuelle primaire ou V1 occupe sur toute sa longueur les deux berges de la scissure calcarine (Rodieck, 1998). L'aire V1 s'étend entre le pôle occipital de l'hémisphère et l'extrémité postérieure du corps calleux où elle rejoint la scissure pariéto-occipitale.

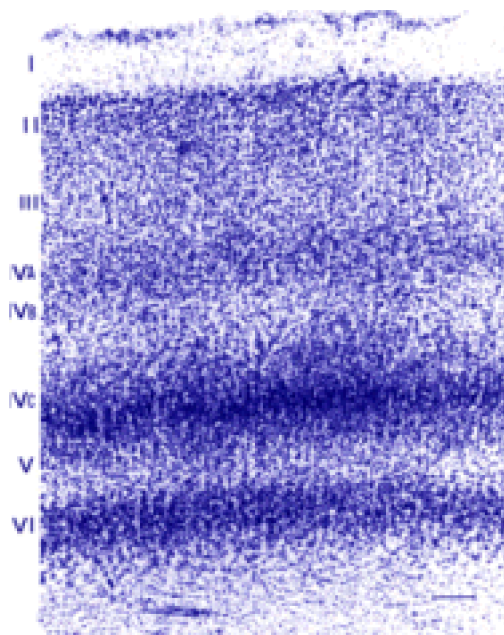


Figure 5. représentation des différentes couches de l'aire V1.

Figure tirée du site : <http://webvision.med.utah.edu/VisualCortex.html#anatomy>

L'aire V1 est composée de 6 couches et est caractérisée par l'importance des couches granulaires (2 et 4) et par la minceur des couches pyramidales (3 et 5). La couche 4 est épaisse et est découpée en trois sous-couches : 4A, 4B et 4C (cf. figure 5).

## 1.2. Connexions de l'aire V1

---

La transmission de l'information visuelle s'effectue à travers des connexions intrinsèques entre les différentes couches de l'aire V1. Elle s'effectue aussi à travers des connexions extrinsèques entre l'aire V1 et les autres aires du cortex visuel.

### 1.2.1. Connexions CGL et V1

La couche 4C reçoit la quasi-totalité des terminaisons axonales des neurones relais du CGL. La partie supérieure 4C $\alpha$  reçoit les afférences des cellules de type M et la partie inférieure 4C $\beta$  reçoit les afférences des cellules de type P provenant du CGL (Bullier, 1998). Ensuite, ces couches 4C $\alpha$  et 4C $\beta$  se projettent sur les couches 2 et 3 au niveau des *blobules* (blobs en anglais). Les *blobules* sont de petites régions ovoïdes caractérisées par une forte concentration d'enzymes métaboliques, la **cytochrome oxydase**. Les zones qui les séparent sont faiblement marquées par cette enzyme et sont

dénomées interblobules.

Les projections des régions interlaminaires du CGL (cellules K) se terminent dans la couche 1 et dans la couche 3 au niveau des *blobules* (Hendry & Yoshioka, 1994; Kaas, Heurta, Weber & Harting, 1978; Lachica & Casagrande, 1992; Livingston & Hubel, 1988).

Ces connexions permettent aux influx des cellules de type P, M et K d'être projetés dans une même zone, ici les *blobules*. Ainsi, il n'y a pas de ségrégation stricte entre les trois influx au niveau du cortex strié.

La connexion entre le CGL et l'aire V1 est contrainte par l'excentricité et le type de cellules qui se projette. En effet, le nombre de cellules de l'aire V1 (couches 4A et 4C $\beta$ ) recevant des axones provenant d'un neurone des couches P est de 30 neurones en périphérie (80°) et 240 neurones au centre (0°). Tandis que le nombre de cellules de V1 (couche 4C $\alpha$ ) recevant des signaux d'un neurone de la couche M varie entre 45 cellules à une excentricité de 80° et 7000 cellules en vision centrale (Connolly & Van Essen, 1984).

### 1.2.2. Connexions extrinsèques et voies visuelles

Les couches du cortex strié diffèrent non seulement par les connexions qu'elles reçoivent mais aussi par les structures éloignées vers lesquelles elles se projettent. Toutes les couches de V1 à l'exception des couches : 1, 4A et 4C, émettent des fibres qui sortent du cortex strié.

Les couches supérieures 2, 3 et 4B se projettent principalement vers d'autres régions corticales, alors que les couches profondes se projettent vers des structures sous corticales (cf. figure 6).

Les connexions feed-forward de l'aire V1 diffèrent selon qu'elles concernent la partie centrale ou la partie périphérique du champ visuel. Ainsi, la région représentant le champ visuel périphérique envoie ses projections sur V3A (Zeki, 1980), sur l'aire occipito-pariétale (OP) (Colby, Gattass, Olson & Gross, 1988) et éventuellement sur l'aire médiale temporale supérieure (MST) (Boussaoud, Ungeleider & Desimone, 1990). La région représentant la partie centrale du champ visuel se projette sur V2, V3d et MT et elle envoie une légère projection sur V4 (Nakamura, Gattass, Desimone & Ungerleider, 1993; Yuki & Iwai, 1985; Zeki, 1969; Zeki, 1978).

La différence entre centre et périphérie du champ visuel est observée au niveau de la couche 2/3 de V1 (blobules et interblobules). Contrairement à la zone périphérique, **la zone représentant la partie fovéale du champ visuel envoie des projections directes sur l'aire V4** (Nakamura, Gattass, Desimone & Ungerleider, 1993; Steele, Weller & Cusick, 1991; Yuki & Iwai, 1985)

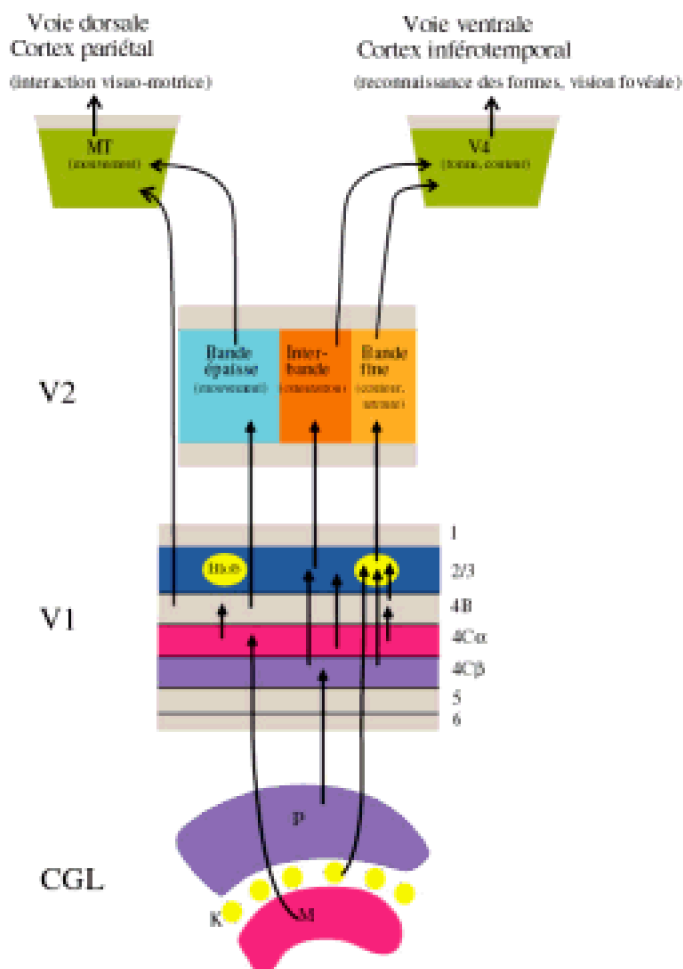


Figure 6. Modules et voies ventrales et dorsales. Les flèches représentent les connexions entre les différents modules du CGL, de l'aire V1 et de l'aire V2 avec les aires MT et V4 qui appartiennent respectivement aux voies dorsales (à gauche) et ventrales (à droite).

Tirée de Bulier et Barone (1992).

Les différents types de connectivité liant les aires visuelles ont été utilisés afin de proposer une hiérarchie du traitement de l'information visuelle le long de deux voies visuelles majeures procédant en parallèle (Felleman & Van Essen, 1991; Van Essen 1985; Van Essen & Maunsell, 1983) : une **voie ventrale** occipito-temporale, impliquée plutôt dans l'analyse de la forme, et une **voie dorsale** occipito-pariétale, vouée principalement à l'analyse du mouvement et de l'espace (Ungeleider & Desimone, 1986).

La notion d'une ségrégation stricte entre voie dorsale et voie ventrale a été contestée par une accumulation de données qui montrent de forts degrés d'interconnexions entre ces deux voies à différents niveaux (Boussaoud, Ungeleider & Desimone, 1990; Colby, Gattass, Olson & Gross, 1988b; Felleman & Van Essen, 1991). En effet, les résultats d'enregistrements électrophysiologiques réalisés sur des cellules individuelles de la voie dorsale montrent une sélectivité typique à la voie ventrale, notamment la sélectivité aux

caractéristiques spatiales des stimuli (Gottlieb, Kusunoki & Goldberg, 1998; Sereno & Maunsell, 1998).

La voie **ventrale** (i.e., le cortex occipito-temporal) reçoit des inputs préférentiellement de la représentation centrale du champ visuel ce qui est cohérent avec le rôle de cette aire dans le traitement de la forme des objets (Ungelheider & Mishkin, 1982).

En revanche, la voie **dorsale** (i.e., les aires du cortex occipitopariétale) reçoit préférentiellement des inputs provenant des représentations périphériques du champ visuel. Ceci est cohérent avec le rôle de ces aires dans la vision spatiale .

### 1.2.3. Connexions intrinsèques

Ces connexions sont de deux types : connexions verticales et connexions horizontales.

**Les connexions verticales** constituent des réseaux qui assurent la transformation et la transmission des signaux ainsi qu'un rétro-contrôle sur ces deux processus (Livingston & Hubel, 1988b; Lachica, Beck & Casagrande, 1992; Fitzpatrick, Lund & Blasdel, 1985; Blasdel, Lund & Fitzpatrick, 1985).

**Les connexions horizontales** sont le résultat de collatérales d'axones de cellules pyramidales principalement situées dans les couches 2 et 3 mais aussi dans la couche 5. Ces connexions collatérales peuvent exercer soit des effets excitateurs au niveau de la cellule elle-même (monosynaptiques) soit des effets inhibiteurs entre deux cellules (disynaptiques) (Hirsch & Gilbert, 1991). Sur une courte distance, ces connexions interviennent dans l'organisation du champ récepteur des cellules corticales ainsi que dans la cohérence fonctionnelle des colonnes.

Les connexions entre les aires visuelles sont établies à travers deux types de projections. Une projection feed-forward transmet l'information d'une aire inférieure dans la hiérarchie à une aire supérieure. Une projection feed-back, suivant un chemin inverse, transmet le signal d'une aire hiérarchique supérieure à une aire inférieure.

### 1.2.4. Projection Feed-back et Feed-forward

Les connexions feed-forward ont pour fonction de transférer l'information provenant de la rétine à l'ensemble des aires corticales du système visuel alors que les connexions feed-back sont responsables de **l'intégration** dans le champ visuel et de la **modulation** de l'activité neuronale (Bullier & Barone, 1992).

Le nombre de projections feed-back sur l'aire V1 est supérieur au nombre des projections feed-forward (Salin & Bullier, 1995). Par exemple, les projections feed-forward allant de V1 vers V4 sont peu nombreuses (Nakamura, Gattass, Desimone & Ungelheider, 1993; Yukie & Iwai, 1985; Zeki, 1978), tandis que les connexions feed-back de V4 à V1 impliquent un très grand nombre de neurones (Perkel, Bullier & Kennedy, 1986; Kennedy & Bullier, 1985). Les neurones assurant la connexion en feed-back entre le CGL et V1 sont 10 à 20 fois plus nombreux que les neurones assurant la connexion feed-forward entre le CGL et l'aire V1 (Sherman & Koch, 1986).

### 1.3. Physiologie du cortex strié

---

Les cellules corticales de V1 sont de deux types : cellules simples et cellules complexes.

#### 1.3.1. Cellules Simples

Les cellules simples ont des régions excitatrices et inhibitrices distinctes. Leur champ visuel a la forme d'une ellipse, avec un centre excitateur ON ou inhibiteur OFF flanqué latéralement de deux zones aux réponses inverses (Chapman, Zahs & Stryker, 1991). Les cellules simples répondent en fonction de l'orientation du stimulus (Hubel & Wiesel, 1959; Hubel & Wiesel, 1962). Les stimuli provoquant des réponses maximales sont des stimuli linéaires qui ne couvrent que la partie centrale du champ récepteur de la cellule et sont orientées selon l'axe de la cellule. En effet, un stimulus qui subit un pivotement de 15° par rapport à l'orientation préférentielle de la cellule simple suffit à réduire la réponse de cette dernière de façon considérable. Les lignes perpendiculaires à l'axe de l'orientation préférentielle ne provoquent aucune activité de la cellule.

#### 1.3.2. Cellules Complexes

Contrairement aux cellules simples, les cellules complexes n'ont pas de sous-champs récepteurs distincts ON et OFF (Hubel & Wiesel, 1962). De ce fait, les cellules complexes répondent de façon optimale aux stimuli linéaires d'une orientation particulière ayant n'importe quelle localisation dans leur champ récepteur. En effet, le champ récepteur des cellules complexes est plus étendu que celui des cellules simples. Ceci explique le fait que les cellules complexes détectent les barres et lignes orientées dans une aire rétinienne plus large. Néanmoins, les réponses des cellules complexes sont plus importantes lorsque le stimulus a une taille correspondant à la moitié ou le tiers du champ récepteur et sont nulles lorsque le stimulus couvre la totalité de leur champ récepteur.

### 1.4. Propriétés fonctionnelles des cellules corticales

---

Les cellules de V1 sont sensibles aux différentes caractéristiques physiques du stimulus visuel. Nous nous intéressons à leur sensibilité à l'orientation et aux fréquences spatiales afin d'introduire l'interaction spatiale ou l'effet de groupement qui constitue le deuxième thème de notre partie expérimentale.

#### 1.4.1. Sélectivité à l'orientation

La non sélectivité à l'orientation des cellules rétiniennes et des cellules géniculaires est due à leur champ récepteur circulaire. La sélectivité à l'orientation est une nouvelle caractéristique du champ récepteur des cellules de l'aire V1. Ces dernières répondent de façon optimale à une orientation préférentielle. De ce fait les stimuli qui provoquent une réponse maximale ont une forme linéaire et donc ont une orientation précise.

Les cellules sélectives à l'orientation se trouvent dans les couches 2 et 3. A noter que



les cellules des blobules dans les couches 2 & 3 ne sont pas sélectives à l'orientation (Hubel & Livingston, 1987).

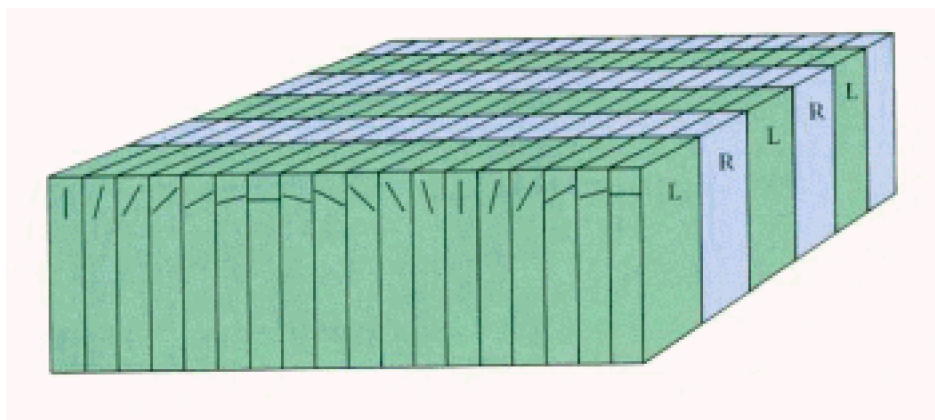


Figure 7. Représentation schématique des colonnes corticales et des orientations traitées dans une même couche. L et R pour œil gauche et œil droit (left et right en anglais).

Tirée du site : <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/columns.jpg>

Toutes les orientations spatiales possibles sont traitées par les cellules de V1. En effet, lors d'une pénétration tangentielle d'une couche corticale à l'aide d'une électrode, Hubel et Wiesel (1977) ont observé que l'orientation préférentielle des cellules changeait systématiquement de façon à couvrir une marge d'orientation (cf. figure 7).

#### **1.4.1.1. SÉLECTIVITÉ À L'ORIENTATION DANS UN CONTEXTE**

La perception visuelle se forme de façon **active** à travers le chemin visuel primaire, ce qui explique des réponses différentes à un même objet vu dans des contextes différents. En effet le champ récepteur n'est pas un appareil passif transformant les entrées en sortie, au contraire c'est une structure dynamique et active (Wörgötter & Eysel, 2000).

La sélectivité à l'orientation des cellules corticales est influencée par le contexte de la stimulation. Différentes études ont observé que lorsqu'un stimulus ayant une orientation préférentielle est présenté, la réponse de la cellule peut être influencée de deux façons : 1/ si une cible (e.g., ligne verticale) est entourée par des stimuli ayant une orientation identique la réponse de la cellule s'affaiblit. 2/ si la cible (e.g., ligne verticale) est entourée par des stimuli ayant une orientation opposée (e.g., des lignes horizontales) la réponse de la cellule augmente (Gilbert & Wiesel, 1990; Sillito & Jones, 1996).

#### **1.4.2. Sélectivité aux fréquences spatiales**

De Valois, Albrecht et Thorel (1982) ont mesuré la sélectivité des cellules corticales simples et des cellules complexes. Ils ont observé que la sélectivité suit un continuum : certaines cellules sont très sélectives et d'autres le sont moins.

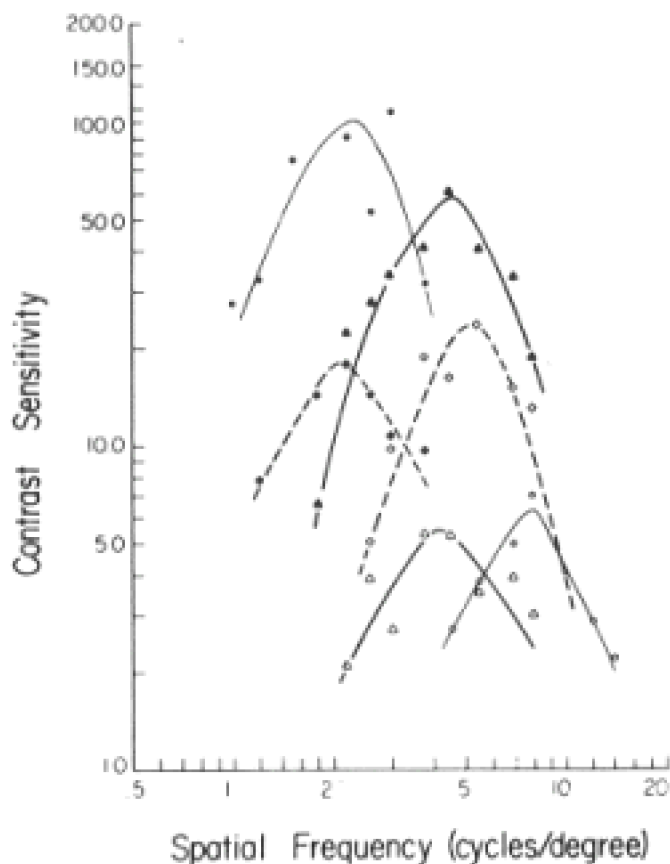


Figure 8. représentation de la sélectivité de six cellules corticales chez le singe à différentes fréquences spatiales. Le pic de sensibilité diffère pour chacune des cellules.

Tirée de De Valois, Albrecht et Thorell (1982).

Comme le montre la figure 8, différentes cellules chez le singe sont sensibles à différentes fréquences spatiales. La cellule représentée par le cercle noir est sélective à une marge de fréquences spatiales comprise entre 1 et 4 cycles par degré ( $c/^\circ$ ), la cellule représentée par un triangle noir est sélective à une marge comprise entre 2 et 10  $c/^\circ$ . En général, les cellules sélectives aux hautes fréquences ont une sélectivité plus fine que les cellules sélectives aux basses fréquences spatiales.

Etant donné que la majorité des données physiologiques sous tendant la perception visuelle proviennent d'études sur le singe, il est important de signaler que la courbe de sensibilité du singe est très semblable à celle de l'homme (De Valois, Morgan & Snodderly, 1974).

Il existe des cellules sensibles aux hautes et basses fréquences spatiales dans la région des projections fovéales et périphériques du champ visuel. Cependant, les cellules sensibles aux hautes FS deviennent de moins en moins nombreuses en périphérie ce qui explique la baisse de sensibilité aux hautes FS en fonction de l'excentricité (De Valois, Yund & Hepler, 1982).

Les cellules corticales montrent une corrélation entre les caractéristiques de sélectivité à l'orientation et celles aux FS. En effet, les cellules finement sélectives aux fréquences spatiales sont aussi finement sélectives à l'orientation et inversement les cellules grossièrement sélectives aux FS sont grossièrement sélectives à l'orientation (De Valois & De Valois, 1990a).

## Chapitre 4. Champ visuel et champ récepteur à travers les aires visuelles corticales

### 1.1. Représentation du champ visuel sur V1

Le champ visuel est représenté de façon **topographique** sur le cortex visuel primaire. La topographie corticale est la correspondance quasi parfaite entre la surface rétinienne et la surface corticale ; deux points présentés à la rétine seront représentés dans des zones voisines sur la surface corticale. Les fibres du nerf optique issues d'une région donnée de la rétine se projettent toutes vers une région déterminée du cortex visuel primaire (Hubel, 1994). Chaque région est structurée de façon très précise : si nous passons d'un point à un autre sur la rétine, les points correspondants du CGL, comme ceux du cortex visuel primaire, dessineront un chemin continu.

Les caractéristiques de l'organisation topographique de l'aire V1 sont conformes au schéma suivant : une représentation continue du champ visuel, les quadrants inférieurs sont représentés sur la partie dorsomédiane, les quadrants supérieurs sont représentés sur la partie ventrolatérale, la partie centrale du champ visuel est représentée sur la partie antérieure et la partie périphérique sur la partie postérieure de V1 (Allman & Kaas, 1971; Gattass, Gross & Sandell, 1981; Gattass, Sousa & Rosa, 1987; Van Essen, Newsome & Maunsell, 1984). La représentation du champ visuel est différente selon qu'il s'agit d'une partie centrale ou d'une partie périphérique.

#### 1.1.1. Représentation centrale vs. représentation périphérique

Contrairement à la différence de densité cellulaire au niveau rétinien, la distribution des cellules corticales est homogène sur l'aire V1. Cependant, la surface corticale vouée à la représentation de la rétine centrale est supérieure à celle vouée à la représentation du champ visuel périphérique.

En effet, l'échelle de la carte de représentation change en fonction de la localisation rétinienne, la partie centrale de la rétine étant nettement plus représentée que la partie périphérique (cf. figure 9).

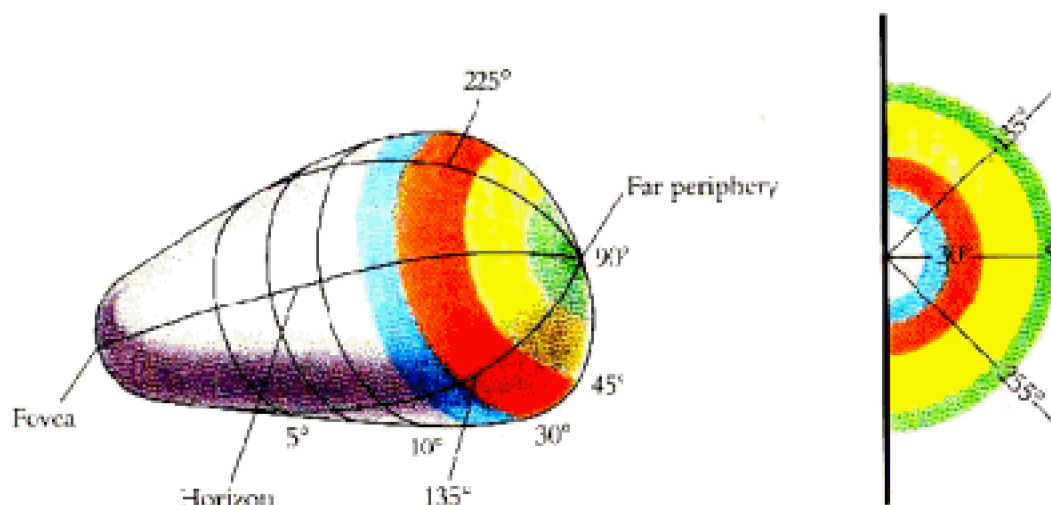


Figure 9. La partie gauche de la figure représente le cortex strié déplié et qui a la forme d'une poire. Il est très distordu à cause d'une sur-représentation de la partie centrale de la rétine c'est l'agrandissement cortical. En revanche, la rétine périphérique lointaine (90°, en vert) est sous représentée. La partie droite de la figure représente le champ visuel.

Tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/VisualCortex.html#anatomy>

### 1.1.2. Facteur d'agrandissement cortical

Le facteur d'agrandissement cortical est défini comme les millimètres de cortex traitant une portion de 1 degré du champ visuel. Il est obtenu par la division de la distance linéaire du cortex par l'angle visuel correspondant (Marshall & Talbot, 1941). Par exemple, si 12 mm sont consacrés au traitement de 2 degrés du champ visuel, l'indice sera :  $12/2=6$  millimètre par degré d'angle visuel. Ainsi, on dira que le stimulus présenté à cet endroit précis du champ visuel a un facteur d'agrandissement cortical de 6, c'est-à-dire 6 mm de cortex sont voués au traitement d'un degré du champ visuel. Daniel et Whitteridge (1961) ont trouvé une baisse rapide du facteur d'agrandissement cortical en fonction de l'excentricité rétinienne. Par exemple, un objet d'un degré d'angle visuel présenté à la fovéa a un facteur d'agrandissement d'une valeur de 6 sur le cortex strié, tandis que le même degré présenté à une excentricité de 40° aura un facteur d'agrandissement de 0.25 environ.

### 1.1.3. Deux modèles physiologiques de l'agrandissement cortical

Un premier modèle attribue l'agrandissement cortical à la densité des cellules ganglionnaires autour du centre de la rétine (Webb & Kaas, 1976). Un deuxième, propose que le cortex a un agrandissement supplémentaire qui n'est pas dû uniquement à la densité des cellules ganglionnaires (Malpeli & Baker, 1975; Perry & Cowey, 1985). Les résultats de Myerson et al., (1977) ont confirmé l'idée d'un agrandissement cortical

supplémentaire indépendant de la densité des cellules ganglionnaires (Malpeli & Baker, 1975).

Les résultats ont été interprétés comme une sur-représentation du champ visuel central en deux étapes, une première rétinogéniculée et une deuxième géniculocorticale (Malpeli & Baker, 1975; Myerson et al., 1977; Perry & Cowey, 1985).

La représentation corticale du champ visuel sur l'aire V1 (Gattass, Sousa & Rosa, 1987) et l'aire V2 (Rosa, Sousa & Gattass, 1988) est plus importante que la distribution des cellules ganglionnaires (Silveira et al., 1989; Popovic & Sjöstrand, 2001). En effet, 42% de l'aire V1 et 50% de l'aire V2 est vouée au champ visuel central de 10° alors que 25% seulement des cellules ganglionnaires (Silveira et al., 1989) sont vouées à cette même portion du champ visuel.

## 1.2. Représentation du champ visuel dans les autres aires visuelles

La topographie n'est pas aussi précise sur toutes les aires visuelles. Sur une échelle de 4 sur laquelle la valeur 1 correspond à une topographie parfaite et la valeur 4 à une topographie quasi inexistante, Felleman et Van Essen (1991) ont attribué un indice de 1 aux aires V1, V2 et V3, un indice de 3 à V3A, MT<sup>3</sup>, LIP<sup>4</sup>, VIP<sup>5</sup> et V6 et un indice de 4 à l'aire MSTd<sup>6</sup>.

La mesure du facteur de l'agrandissement cortical n'est possible que lorsque l'aire visuelle a une représentation topographique stricte du champ visuel comme dans les aires impliquées dans le traitement initial de l'information visuelle telles que V1 et V2.

En ce qui concerne les aires les plus éloignées de V1, l'organisation topographique devient de moins en moins stricte voire inexistante. Ainsi, afin de mesurer la représentation spatiale dans les autres aires, Ben Hamed (1999) a mesuré pour les dix aires visuelles, précédemment citées, la **densité cellulaire relative**. Cette mesure correspond à une estimation du volume cortical voué à la représentation d'une zone donnée de l'espace.

**Aires visuelles : V6, LIP et MT.** L'étendue du codage spatial contralatéral s'étend à 40° pour LIP, 54° pour MT et 92° pour V6. Cette étendue s'accorde avec le pic de distribution cellulaire ; c'est-à-dire que plus l'étendue du champ visuel encodée est grande plus le pic de distribution se décale vers la périphérie. Ainsi, l'aire LIP a un pic de distribution de cellules situé à 2°, MT à 14° et V6 à 42°.

Dans l'aire V6 la représentation de la partie centrale du champ visuel ne bénéficie pas d'un agrandissement cortical comparable à celui de la périphérie (Galletti, Fattori,

<sup>3</sup> aire médio-temporale.

<sup>4</sup> aire Latérale Intra-Pariétale.

<sup>5</sup> aire Ventrale Intra-Pariétale

<sup>6</sup> Aire temporale médiale supérieure dorsale.

Gamberini & Kutz, 1999). Cette organisation favorise l'analyse du flux optique qui résulte de notre mouvement dans l'espace, la sélection de cibles dans une recherche visuelle et le contrôle du mouvement de la main permettant d'atteindre un objet perçu dans la périphérie (Galletti, Fattori, Gamberini & Kutz, 1999).

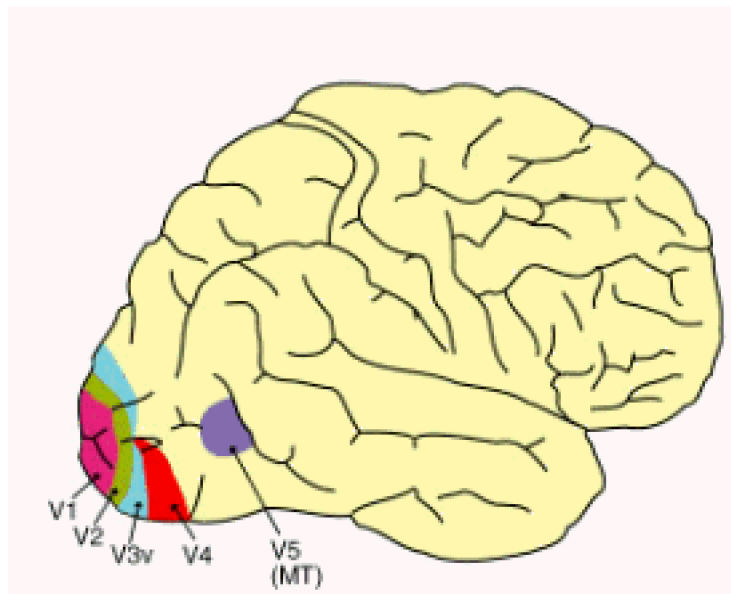


Figure 10. Vue latérale des aires visuelles V1, V2, V3v, V4 et MT chez l'homme. Tirée de Bullier et Barone (1992).

L'étendue du champ visuel traitée par les différentes aires peut s'expliquer par des aspects fonctionnels. Ainsi, l'aire LIP, qui traite une étendue de 40° environ, est spécialisée dans la programmation et l'exécution des saccades oculaires. A noter que les saccades oculaires ont une amplitude inférieure à 40° (Moody, Wise, di Pellegrino & Zipser, 1998). L'aire MT codant une étendue de 60° environ est spécialisée dans le traitement des mouvements et exprime une sélectivité plus spécifique aux bords des figures en mouvements.

**Aires V6A, MSTd et VIP.** Le pic de densité cellulaire est situé à 20° pour VIP, à 24° pour MSTd, ce qui confère à ces deux aires une sur-représentation de l'espace périphérique. V6A se distingue par deux pics de densité cellulaire, le premier à 6° et le deuxième à 46°, cette distribution à deux pics reste inexplicée. L'étendue de la portion de l'espace contralatéral et ipsilatéral traitée par ces trois aires est de 50° et 40° respectivement (Ben Hamed, 1999).

Ces deux pics de distributions cellulaires en périphérie de plus de 20° pour VIP et MSTd s'expliqueraient par leurs caractéristiques fonctionnelles. En effet, tout comme MSTd, VIP exprime une sélectivité aux stimuli de type flux optiques (Schaafsma & Duysens, 1996).

### 1.3. Caractéristiques des champs récepteurs dans différentes aires visuelles

---

Selon la taille des CR de leurs neurones, 10 aires visuelles (V1, V2, V3, V3A, V6, V6A, MT, MSTd, LIP et VIP) ont été étudiées par Ben Hamed (Ben Hamed, 1999).

Ces aires ont été réparties en trois groupes : premier groupe (V1, V2, V3 et V3A), second groupe (V6, LIP et MT) et un troisième groupe (V6A, MSTd et VIP). Cette étude montre une variation des caractéristiques suivantes à travers les aires visuelles :

1. Corrélation entre taille du champ récepteur et excentricité à travers les aires visuelles.
2. Tailles des champs récepteurs en fovéa.
3. Croissance des CR en fonction de l'excentricité.

Ces caractéristiques sont données en chiffre pour chacun des groupes dans le tableau 2.

**Tableau 2. Corrélation entre taille et excentricité des CR (CTE-CR). Taille des CR en fovéa (T-CR-F). Croissance des CR en fonction de l'excentricité (CR-EXC). Données moyennes prises de Ben Hamed (1999).**

Groupe	Valeurs moyennes		
	CTE-CR	T-CR-F	CR-EXC
G1 (V1, V2, V3, V3A)	0.76	1.1°	0.21
G2 (V6, LIP, MT)	0.49	7.714°	0.49
G3 (V6A, MSTd, VIP)	0.34	30.59°	0.31

### 1.3.1. Corrélation entre taille et excentricité du champ récepteur

Il ressort du tableau 2 que les aires du groupe 1 ont une corrélation très forte de 0.76 entre la taille de leur CR et son excentricité dans le champ visuel. Cette corrélation indique un changement systématique de la taille du CR en fonction de l'excentricité. Cette corrélation est plus basse pour G2 (0.49) et G3 (0.34). Ceci indique que les tailles des CR des aires du G2 et G3 changent moins systématiquement que les CR des aires du G1 en fonction de l'excentricité.

### 1.3.2. Taille des champs récepteurs de la fovéa

La taille des CR correspondant à la rétine centrale change différemment pour les trois groupes. Le CR du G1 représente une petite portion du champ visuel d'une taille de 1°, cette taille augmente par un facteur de 7 pour G2 et par un facteur de 30 pour G3.

Donc la taille des CR augmente du centre vers la périphérie mais aussi d'une aire primaire telle que V1 et V2 aux aires supérieures telles que V3A et MT.

### 1.3.3. Taux de croissance du CR

Le taux de croissance du CR en fonction de l'excentricité, calculé à partir de la pente de droite de régression liant taille et excentricité, est différent pour chacun des groupes. Le CR des neurones des aires primaires augmente de façon plus graduelle et lente (0.21) que celui des aires intermédiaires G2 (0.49). Le CR des neurones des aires du G3

augmente de façon plus rapide (0.31) que le CR des neurones des aire primaires et moins rapidement que celui des neurones des aires intermédiaires.



## Partie II

### Chapitre 1. Vision spatiale

***“The retina can be compared to a city, with most of its receptor inhabitants densely packed into the foveal city center, and with a sparser population spread out over more territory in the suburban periphery. The Manhattan skyline can be considered as a histogram of land prices, peaking in the downtown area where space is at a premium and people are squeezed in very tightly. Likewise, a graph of acuity across the retina is also a graph of information-gathering power, peaking in the fovea where the receptors are most densely packed.” (Anstis, 1974).***

Dans la première partie (chapitres 1 à 4), nous avons traité des caractéristiques anatomiques et physiologiques du système visuel en allant de la rétine, au CGL et enfin aux aires visuelles corticales.

La deuxième partie sera consacrée à la fonction du système visuel. Dans ce premier chapitre nous traiterons de l'acuité visuelle, de la fonction de sensibilité au contraste et de l'échantillonnage. Ces concepts seront nécessaires pour la compréhension de notre partie expérimentale. Le deuxième chapitre sera consacré aux études psychophysiques ayant porté sur deux tâches visuelles, détection et identification. Le troisième chapitre abordera les différentes études psychophysiques ayant traité le phénomène de groupement. Enfin,

le quatrième chapitre décrira les résultats et conclusions des expériences précédentes ayant traité l'apprentissage perceptif.

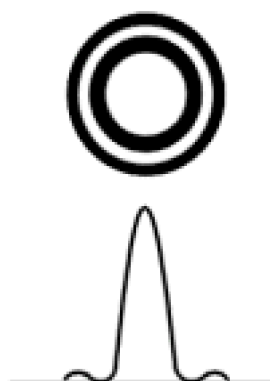
### 1. Acuité visuelle

---

L'acuité visuelle représente le pouvoir de discrimination le plus fin de l'œil entre deux cibles lorsque le contraste est à un niveau maximal. Elle varie du centre de la rétine où elle atteint un maximum à la périphérie rétinienne où elle atteint un minimum. Au niveau rétinien, l'acuité visuelle est contrainte par différents facteurs tels que la diffusion de la lumière et la distribution des unités réceptrices qui seront développées sous ce titre.

#### 1.1. Diffusion de la lumière

La lumière projetée à travers un orifice passe sans modification au centre mais est absorbée et retransmise sur les bords. Ainsi, la mise au point d'une image sur la rétine dépend des variations de puissance du cristallin et de la taille de la pupille. L'image d'un point formé sur la rétine, est une image de diffraction composée d'une tache centrale de 5  $\mu\text{m}$  de diamètre entourée d'anneaux de diffusion appelée disque d'Airy (Riggs, 1965) (cf. figure 11).



*Figure 11. Représentation du disque d'Airy. Le cercle en haut est une coupe horizontale de la distribution de l'énergie lumineuse dans une tache de diffraction. La tache centrale contient 98% de l'énergie totale.*

Tirée du site : <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html#spatial>

Deux points peuvent être à peine résolus s'ils rencontrent le critère de Rayleigh. Ce critère propose que deux points ou deux lignes sont à peine résolus si le pic de diffusion d'un point se trouve sur le premier creux de l'autre point (Riggs, 1965) (cf. figure 12).

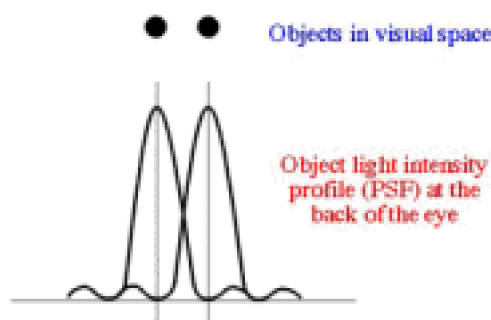


Figure 12. Diagramme de la limite de Rayleigh pour la résolution de deux points. Les deux points sont à peine résolus, car ils se trouvent sur le creux de leur diffraction (lignes verticales grises).

Tirée du site : <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html#spatial>

Il est possible de résoudre deux objets s'ils sont séparés par la largeur de leur fonction de diffusion (cf. figure 13 a). Si les deux objets sont à l'intérieur de cette distance notre perception est celle d'une image uniforme (cf. figure 13 b). Les deux objets ne peuvent donc pas être discriminés (Riggs, 1965).

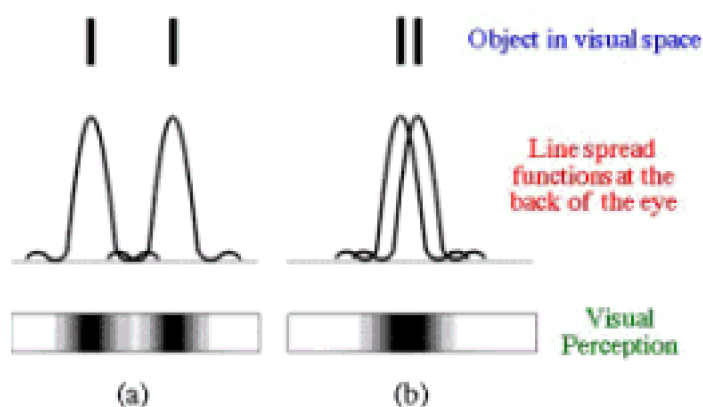


Figure 13. Représentation de la perception de deux lignes en fonction de la séparation de leur fonction de diffusion.

Tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html#spatial>

## 1.2. Distribution des cônes

La distribution des cônes détermine l'**échantillonnage** spatial sur la rétine et a un effet sur l'acuité visuelle. Helmholtz (1866) a proposé qu'un réseau serait résolu si une rangée de cônes inactifs était présente entre les rangées de cônes stimulés.

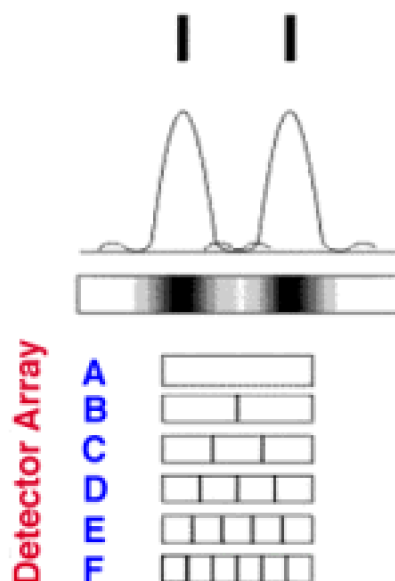


Figure 14. Représentation de la fonction de diffusion selon différentes rangées de détecteurs. Les rangées de détecteurs A et B ne peuvent pas résoudre les deux lignes. Les lignes C à F peuvent résoudre les lignes puisqu'elles contiennent un voire plusieurs cônes non stimulés. Les unités non stimulées permettent de détecter la brisure entre les deux lignes avec un mode de réponse : oui-non-oui.

Tirée de : <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html#spatial>

Par contre, si un seul détecteur traitait les deux lignes elles ne seront pas résolues mais perçues en tant qu'une seule ligne floue. Comme le montre la figure 14, ni la distribution A ni la distribution B ne permettent une résolution des deux lignes. Ce n'est qu'à partir de la distribution C que la résolution devient possible grâce à la cellule centrale inactive qui sépare les deux cellules latérales actives. L'acuité de réseaux nécessite une séparation de 30 à 60 secondes d'arc (c'est le diamètre du segment interne d'un cône).

Certaines tâches visuelles sont toutefois accomplies avec plus de précision que ce que prévoit la distance séparant deux cônes. Il s'agit, en effet, des tâches d'*hyperacuité*, comme par exemple dans la tâche vernier qui consiste à détecter le pivotement d'une ligne test par rapport à une ligne de référence. Dans cette tâche, l'œil parvient à traiter des espacements inférieurs à 0.5 minute d'arc d'intervalle, c'est-à-dire que des éléments qui ne sont pas représentés par des unités réceptrices séparées sont tout de même traités (Westheimer, 1987; 1979). Ainsi, la densité des cônes et des cellules a un rôle important dans la résolution des stimuli mais elle n'est pas le seul facteur.

#### 1.4. Mesure de l'acuité visuelle

Lorsque deux points ou deux lignes sont présentés dans le champ visuel et qu'un rapprochement entre les deux éléments est effectué, à une certaine distance les deux stimuli ne sont plus perçus que comme un seul stimulus. La distance angulaire critique qui permet de résoudre deux éléments séparément est appelée *Angle de résolution minimum*

(ARM) (MAR du : minimum angle of resolution en anglais). Ce concept est très lié à l'acuité visuelle et aussi aux lettres de Snellen et le C de Landolt.

Pour un observateur ayant une bonne mise au point de l'image, le ARM est de 0.5 min. d'arc, il s'agit de l'intervalle séparant deux cônes dans la partie fovéale de la rétine (Westheimer, 1987). L'acuité ARM est définie en tant que réciproque du seuil de la discrimination spatiale exprimée en minute d'arc. Ainsi, un ARM de 0.5 minute d'arc est équivalent à une acuité visuelle de 2.

Afin de mesurer le ARM, une cible est montrée à l'observateur qui doit y porter un jugement spatial par exemple décider si la cible est un **C** ou un **O**. L'échantillonnage (grain) du système visuel doit être suffisamment fin pour recevoir les deux terminaisons du C séparément. Dans le cas contraire, les deux points se chevauchent et l'observateur voit un O (C fermé) à la place du C. Nous pouvons expliquer la perception du C en tant que O par rapport à l'échantillonnage du système visuel, si les deux extrémités du C sont reçues par un seul cône, ces deux extrémités sont confondues et perçues comme un trait continu.

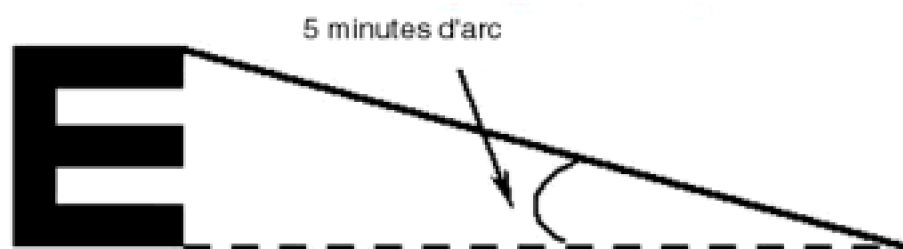


Figure 15. Représentation de la relation entre la largeur d'un élément et l'ensemble de la lettre E. Le E est structuré de 5 lignes : noire, blanche, noire, blanche, noire. La largeur d'une des lignes horizontales égale un cinquième de la ligne verticale.

Le test standard permettant la mesure du ARM consiste à présenter des lettres à haut contraste que l'on agrandit jusqu'à ce que leur résolution soit possible. La lettre type utilisée est caractérisée par une taille globale égale à 5 fois la taille des éléments la constituant (cf. figure 15). La tâche de l'observateur est de juger si la lettre (e.g., **E**) est orientée vers le haut, le bas, la gauche ou la droite.

### 1.5. Angle minimum de résolution à travers le champ visuel

En mesurant le ARM en fonction des excentricités réiniennes, Wertheim (1894) a trouvé des valeurs qui variaient entre 1.08 min. d'arc et 12.6 min. d'arc aux excentricités de 2.5 et 50 degrés, respectivement. Ceci donne le facteur de changement de 11.7 (cf. tableau 3).

Tableau 3. Valeurs d'angle minimum de résolution en fonction des excentricités. Valeurs prises de Wertheim (1894).

Excentricités	2.5	5°	10°	20°	30°	40°	50°
ARM (min.)	1.08	1.68	2.64	4.8	6.96	9.78	12.6

## 2. Fonction de sensibilité au contraste

---

La fonction de sensibilité au contraste (FSC) est l'une des fonctions les plus appropriées pour décrire la fonction visuelle. Elle mesure la visibilité des réseaux en fonction de leurs fréquences spatiales (FS). Afin de mesurer la FSC, la valeur du contraste est ajustée jusqu'à ce que le stimulus soit au seuil de la visibilité (en général 75 % de bonnes réponses dans un paradigme de choix forcé à 2 alternatives) cette procédure est répétée pour un nombre de fréquences spatiales. La sensibilité à chaque fréquence spatiale est définie comme la réciproque du contraste à un niveau de seuil.

Pour un observateur normal, dans des conditions de vision photopique, la meilleure sensibilité au contraste se situe autour des 3 à 5 cycles par degrés ( $c/^\circ$ ). Cette sensibilité baisse de façon plus rapide lorsqu'on se déplace vers les hautes FS (De Valois & De Valois, 1990).

Une baisse progressive du niveau de luminance provoque une translation de la courbe de sensibilité au contraste vers les basses FS (Daitch & Green, 1969; De Valois, Morgan & Snodderly, 1974). Ainsi, le changement d'un niveau de luminance photopique à un niveau mésopique fait que le pic de sensibilité se décale de  $5 c/^\circ$  vers  $2 c/^\circ$  (De Valois & De Valois, 1990).

La courbe de la FSC est-elle une courbe uniforme ou bien une enveloppe composée de plusieurs courbes? La réponse à cette question nous mène au concept de **canal** sensoriel en psychophysique.

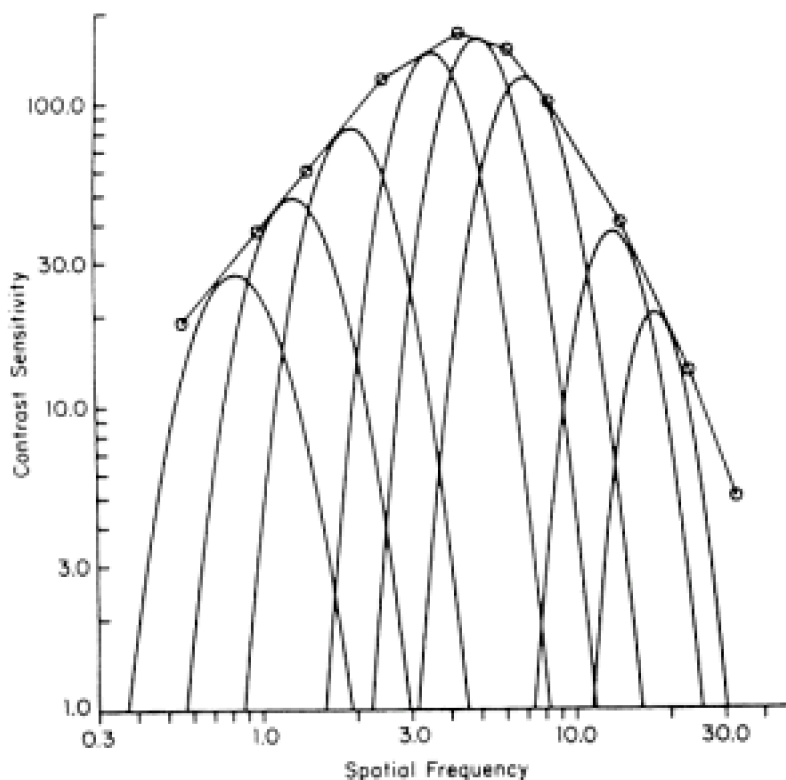


Figure 16. Représentation schématique de la courbe de sensibilité au contraste et des différents canaux de FS qui la composent.

## 2.1. Canaux Multiples de Fréquences spatiales

Le mécanisme qui sous tend la FSC n'est pas un mécanisme unique sélectif à une large gamme de fréquences spatiales mais il s'agit d'une enveloppe couvrant les sensibilités propres à de multiples canaux ou filtres. En effet, en utilisant la technique de **l'adaptation aux FS**<sup>7</sup>, Blakemore et Campbell (1969) ont affirmé que le système visuel contient des groupes de filtres passe-bande indépendants et quasi linéaires, chacun finement sélectif à une marge de fréquences spatiales (cf. figure 16).

## 2.2. Définition d'un canal

En général, la notion de canal renvoie à un mécanisme de filtrage qui laisse passer une partie de l'information qui lui parvient mais pas toute l'information. Pour Graham (1980), un canal psychophysique est composé de toutes ces cellules qui ont des champs récepteurs identiques et qui se trouvent dans une région donnée de la rétine. Un canal de

<sup>7</sup> La technique de l'adaptation aux FS: dans une première étape l'observateur s'adapte à un stimulus d'une certaine marge de FS. Dans une deuxième étape il doit détecter des stimuli de différentes FS. La logique de l'adaptation est la suivante. Si l'adaptation à un pattern A réduit la sensibilité à ce pattern mais pas la sensibilité au pattern B, alors les éléments neuronaux affectés par l'adaptation sous-tendent la détection du pattern A mais pas celle du pattern B.

2  $c/^\circ$  est un canal qui détecte la présence d'énergie à cette fréquence spatiale. Les unités traitant les FS de 2  $c/^\circ$ , même si elles sont dispersées, constituent ensemble le canal de 2  $c/^\circ$ . Il y a trois types de filtres de fréquences spatiales ou temporeles :

Un filtre **passe-haut** qui laisse passer les hautes fréquences.

Un filtre **passe-bas** qui laisse passer les basses fréquences.

Un filtre **passe-bande** qui laisse passer une gamme bien précise de fréquences. Ce dernier filtre est plus fin et plus sélectif.

Un système qui filtre l'information à travers plusieurs canaux, doit avoir un certain nombre de filtres passe-bande sélectifs à différentes régions de fréquences (De Valois & De Valois, 1990).

### 2.3. Canaux de fréquences spatiales à travers le champ visuel

Il a été proposé que les hautes FS sont plutôt traitées dans la partie centrale du champ visuel, que les FS moyennes sont traitées dans la périphérie proche et que les basses FS sont détectées dans la périphérie lointaine (Van Doorn, Koenderink & Bouman, 1972). Cette suggestion va dans le même sens que la variation des champs récepteurs qui deviennent de plus en plus grands en fonction de l'excentricité (Hubel & Wiesel, 1974). Cependant, les recherches de Robson et Graham (1981) ont montré que chaque région dans l'espace visuel est traitée par des canaux sélectifs à une marge de FS. Ils ont trouvé aussi que toutes les fréquences spatiales, hautes, moyennes et basses sont mieux traitées dans la partie fovéale. La sensibilité aux hautes FS baisse plus rapidement que la sensibilité aux basses FS en fonction de l'excentricité (Hilz & Cavonius, 1974; Koenderink, Bouman, Bueno de Mesquita & Slappendel, 1978; Watson, 1987).

## Chapitre 2. Facteur d'agrandissement: approche psychophysique

Dans ce chapitre, nous décrivons les modèles qui tentent d'expliquer les différents facteurs d'agrandissement selon les tâches visuelles. Nous décrivons, ensuite, la méthode de mise à l'échelle des stimuli développée par Rovamo et Virsu (1979) pour compenser la baisse d'acuité visuelle en périphérie rétinienne. Nous expliquerons aussi la méthode de Watson (1987) qui permet d'étudier l'évolution des tâches visuelles dans le champ visuel.

### 1. Facteur d'agrandissement : modèles psychophysiques

---

Trois modèles ont été proposés pour rendre compte de la baisse très rapide de l'acuité de position spatiale comparée à la baisse plus lente de l'acuité de réseau.



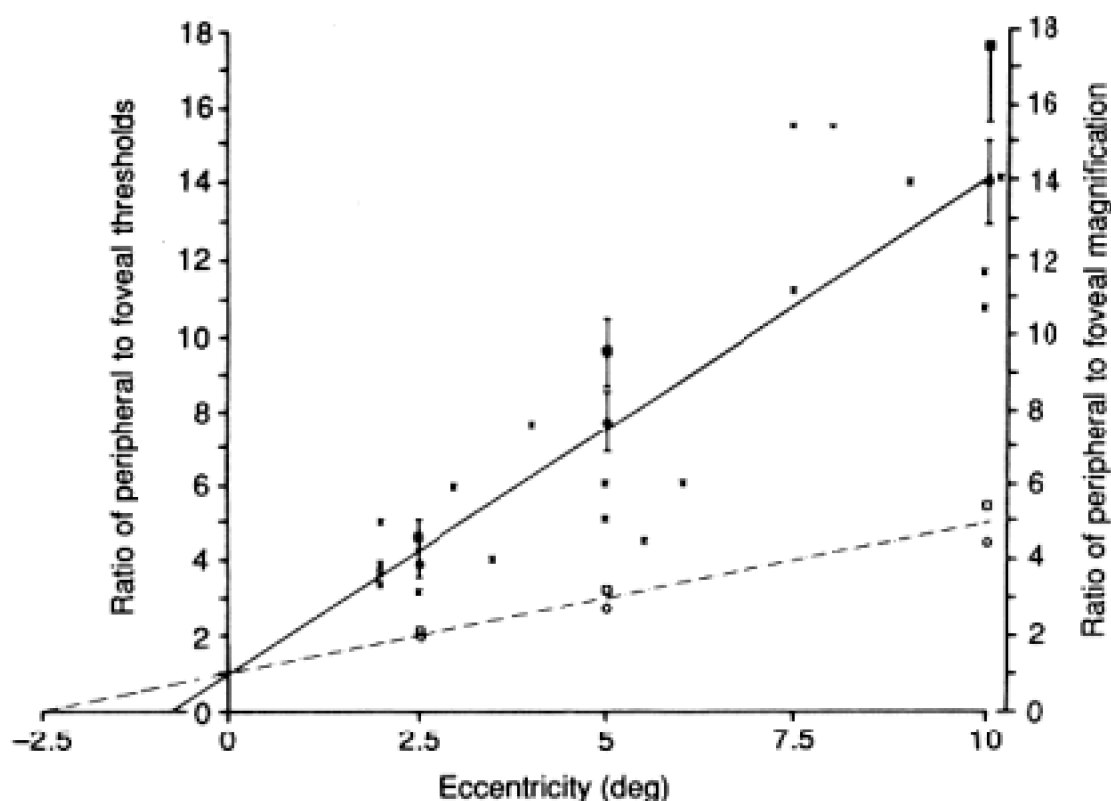


Figure 17. La ligne discontinue représente l'augmentation de l'espacement entre cônes en fonction de l'excentricité rétinienne. L'intersection de la ligne discontinue avec l'axe des  $x$  résulte en un  $E_2$  de 2.5. La ligne continue résulte en un  $E_2$  de 0.77. Les petits points représentent le changement de l'inverse de l'agrandissement cortical en fonction de l'excentricité (Covey & Rolls, 1974). Les cercles et carrés ouverts montrent les changements de l'acuité de réseau pour deux observateurs en fonction de l'excentricité tandis que les mêmes symboles pleins représentent le changement de l'acuité vernier pour les mêmes observateurs.

Tirée de Wilson, Levi, Maffei, Rovamo, De Valois, (1990).

Le premier modèle de Jamar, Kwakman et Koenderink (1984) explique cette différence en formulant l'hypothèse que les tâches visuelles sont traitées dans différentes régions corticales ayant chacune son propre facteur d'agrandissement. Le deuxième modèle de Johnston (1987) propose que la différence entre les tâches d'acuité de réseaux et les tâches d'hyperacuité est due au fait que l'acuité visuelle dépend de l'orientation des réseaux perçus (les réseaux horizontaux étant mieux encodés par le système visuel que les réseaux verticaux). Enfin, le troisième modèle de Levi et al. (1985) suggère que les tâches visuelles sont contraintes par deux types de facteurs:

les tâches de résolution spatiale par des *facteurs rétiniens* (e.g., la densité des cônes dans la rétine, cf. figure 12. ligne discontinue)

les tâches d'acuité de positionnement spatial (vernier et orientation) par des *facteurs corticaux* (Barlow, 1979; Barlow, 1981; Westheimer, 1982) (cf. figure 12. ligne continue).

Ainsi, ce **modèle à double échelle** propose que l'agrandissement des stimuli en vision périphérique s'effectue selon le type de tâches étudiées. Le facteur de mise à l'échelle est plus important pour les tâches d'hyperacuité que pour les tâches de détection de réseaux.

## 2. Concept du $E_2$

---

Sur le plan anatomique, le  $E_2$  est l'excentricité à laquelle la représentation périphérique d'une surface est réduite de moitié par rapport à la représentation fovéale de cette même surface. Sur un plan comportemental, il s'agit de l'excentricité à laquelle les performances des observateurs baissent de moitié comparées aux performances réalisées dans la partie centrale du champ visuel.

D'après Levi et al. (1985), la valeur du  $E_2$  peut être estimée à partir de l'intersection de la droite des rapports des seuils sur l'axe des  $X$  (excentricités) (cf. figure 17).

$Y = aX + b$ , où  $X$  est l'excentricité,  $Y$  le seuil d'une variable et  $a$  et  $b$  sont des constantes.

En fovéa  $x = 0$  donc  $Y = b$

Le  $E_2$  est donc l'excentricité où  $ax+b = 2b$  (par définition)

Ce qui donne  $x = b/a = E_2$ .

Mais lorsque  $Y = 0$ ,  $X = -b/a$

Donc le  $E_2$  correspond à l'abscisse en valeur absolue de l'intersection de la droite des seuils de performances avec l'axe des excentricités.

**Tableau 4. Valeurs du  $E_2$  pour différentes structures du système visuel et différentes tâches psychophysiques. Ce tableau est complété en fonction des besoins de l'étude à partir du tableau de Wilson et al. (1990).**

Structure et fonction	Etudes
E2 entre 1.5° et 4°	
Densité des cônes	(Curcio, Sloan, Packer, Hendrickson & Kalina, 1987; Øesterberg, 1935)
Cellules ganglionnaires P-bêta	(Perry & Cowey, 1985; Schein & de Monasterio, 1987)
Taille du champ récepteur	(Dow, Snyder, Vautin & Bauer, 1981)
Résolution	(Coletta & Williams, 1987; Levi et al., 1985; Wertheim, 1894; Westheimer, 1979)
Sensibilité au contraste	(Koenderink et al., 1978; Rovamo, Virsu & Näsänen, 1978; Swanson & Wilson, 1985; Watson, 1987)
Détection de changements géométriques dans des formes complexes (e.g. visages)	(Rovamo, Mäkelä, Näsänen & Whitaker, 1997)
E2 entre 0.3° et 0.9°	
Inverse de l'agrandissement cortical $M^{-1}$	(Dow, Snyder, Vautin & Bauer, 1981; Tootell, Silverman, Switkes & De Valois, 1982; Van Essen, Newsome & Maunsell, 1984)
Identification de chiffres	(Farrel & Desmarais, 1990)
Acuité vernier de 2 points	(Westheimer, 1982)
Acuité vernier de lignes contiguës	(Levi et al., 1985)
- Zone d'interférence dans l'acuité vernier (étendue du groupement) - Zone d'interférence dans l'identification de l'orientation de la lettre " T "	(Levi et al., 1985) (Toet & Levi, 1992)
Bissection entre 3 points	(Klein & Levi, 1987; Yap, Levi & Klein, 1987)
Discrimination des phases	(Klein & Tyler, 1981)
Détection de symétrie dans des stimuli de pixels randomisés.	(Barrett, Whitaker, McGraw & Herbert, 2000) (Gurnsey, Herbert & Kenemy, 1998)

Plusieurs études anatomiques et psychophysiques ont montré qu'il y a deux  $E_2$  critiques. Le premier se situe autour d'une moyenne de 2.8° et le deuxième de 0.6° environ. Ces deux  $E_2$  semblent concerner différents niveaux du système visuel et différentes tâches visuelles. Levi et al. (1985) proposent le concept du  $E_2$  pour classer les tâches visuelles en deux types. Un premier type de tâches qui se dégrade rapidement en périphérie et qui ont un  $E_2$  très bas. Un deuxième type de tâches qui baisse plus lentement et qui a un  $E_2$  plus grand. Le tableau 4 résume les valeurs de  $E_2$  des études physiologiques, anatomiques et psychophysiques.

Il ressort du tableau 4 que certaines tâches telles que la résolution spatiale, la sensibilité au contraste et la détection de changement géométrique baissent en périphérie par un facteur comparable à celui de la baisse de la densité des cônes, des cellules ganglionnaires et de la taille des champs récepteurs. Cependant, les tâches telles que l'acuité vernier, les zones d'interférence ou groupement et la discrimination des phases baissent par un facteur similaire à celui de la baisse de la surface corticale vouée au traitement des zones périphériques du champ visuel. A noter que les valeurs de  $E_2$

peuvent différer par un facteur de 100 d'une tâche à une autre (Whitaker, Mäkelä, Rovamo & Latham, 1992).

### 3. Théorie de l'agrandissement cortical de Rovamo et Virsu

---

Les performances visuelles déclinent lorsque la taille du stimulus est maintenue fixe à travers les excentricités (Hilz & Cavonius, 1974; Koenderink et al., 1978; Robson & Graham, 1981; Rovamo, Virsu & Näsänen, 1978).

Afin de remédier à cette baisse de performances visuelles en périphérie et en se basant sur l'idée de l'agrandissement cortical ( $A_C$ ) de Daniel et Whitteridge (1961), Rovamo et Virsu (1979) ont proposé que **si la taille du stimulus est ajustée de telle sorte qu'elle stimule la même surface corticale de V1 à travers le champ visuel, alors les performances visuelles devraient être les mêmes à toutes les excentricités rétinienne**s. Ainsi, ils ont proposé un **facteur d'agrandissement** ( $f$ ) permettant d'égaliser les fonctions visuelles à travers le champ visuel. Ce facteur de mise à l'échelle se calcule de la manière suivante :

$$A_C = A_F / f \quad (1)$$

$$\text{Où } f = (E_2 + E) / E_2 = 1 + (E / E_2) \quad (2)$$

Lorsque  $E = E_2$ ,  $f = 2$ , ainsi,  $E_2$  = l'excentricité où  $A_C$  est réduit par un facteur de deux.

où  $A_F$  est l'agrandissement cortical de la partie fovéale,  $E$  est l'excentricité à laquelle le stimulus est présenté et  $E_2$  est l'excentricité à laquelle les performances baissent de moitié par rapport à la fovéa.

En prenant en compte les asymétries du champ visuel et les données de Daniel et Whitteridge (1961) concernant la représentation corticale du champ visuel, Rovamo et Virsu (1979) ont proposé une formule ayant des valeurs constantes qui diffèrent pour chacune des 4 parties du champ visuel. Ces formules calculent les tailles de stimuli permettant d'égaliser les performances à différentes excentricités:

$$\text{Nasal : } A_N = A_F * ((1 + 0.33 * E) + (0.00007 * E^3)); (3)$$

$$\text{Supérieur : } A_S = A_F * ((1 + 0.42 * E) + (0.00012 * E^3)); (4)$$

$$\text{Temporal : } A_T = A_F * ((1 + 0.29 * E) + (0.00012 * E^3)); (5)$$

$$\text{Inférieur : } A_I = A_F * ((1 + 0.42 * E) + (0.000055 * E^3)); (6).$$

où  $E$  est l'excentricité en degrés d'angle visuel,  $A_F$  l'agrandissement de la partie fovéale du champ visuel.

Dans une tâche de détection de réseaux sinusoïdaux, en présentant des stimuli de même taille à 6 excentricités, Virsu et Rovamo (1979) ont observé que les courbes de la sensibilité au contraste se décalent verticalement indiquant une baisse des performances et se décalent horizontalement indiquant un meilleur traitement des basses FS en vision

périphérique (cf. figure 18.A). Après agrandissement des tailles des stimuli, les courbes subissent une translation verticale et se superposent mais elles ne changent pas sur l'axe des FS. Dans une autre étude, Rovamo et al. (1978) ont mis à l'échelle les tailles des stimuli et ont représenté les FS des stimuli en fonction de leur représentation corticale pour les différentes excentricités. La figure 18.C montre un décalage vertical et horizontal permettant une superposition des courbes indiquant une égalisation des performances à toutes les excentricités.

On peut conclure qu'en partant de la fovéa vers la périphérie, les performances visuelles changent selon deux dimensions : une dimension **verticale** qui est l'équivalent du changement de l'étendue du cortex vouée à chaque excentricité et une dimension **horizontale** qui est l'équivalent des fréquence spatiales corticales.

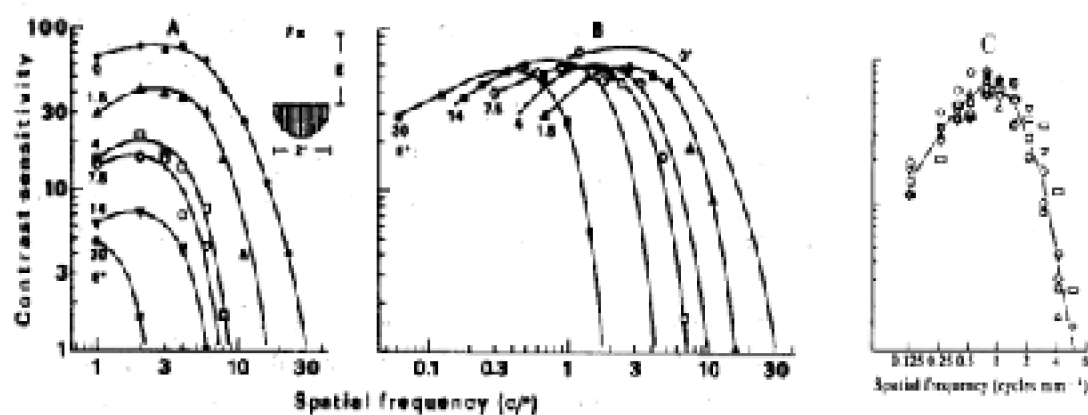


Figure 18. (A) Représentation de la sensibilité au contraste en fonction des fréquences spatiales pour différentes excentricités rétiniennes sans mise à l'échelle des stimuli. Les courbes diffèrent selon deux dimensions : verticale (baisse de performances) et horizontale (les basses FS sont mieux traitées en vision périphérique). (B) Après agrandissement des tailles des stimuli sans agrandissement des FS, les courbes se décalent verticalement et se superposent mais il reste une différence horizontale en fonction des FS. Tirée de Virsu et Rovamo (19789). (C) Après une mise à l'échelle des tailles des stimuli et de leur FS, les courbes se sont décalées verticalement et horizontalement indiquant une égalisation des performances pour toutes les excentricités.

Tirée de Rovamo et al. (1978). A signaler que les FS des parties A et B sont représentées en cycles par degré et dans la partie C les FS sont représentées en cycles par millimètre de la surface corticale.

La distribution des cellules ganglionnaires et les performances visuelles diffèrent d'un individu à l'autre. Heureusement, il est possible de calculer le facteur d'agrandissement nécessaire pour produire les mêmes performances en périphérie qu'en fovéa pour chaque observateur sans se baser directement sur les données physiologiques (Johnston & Wright, 1986; Johnston, 1987; Saarinen, Rovamo & Virsu, 1989; Watson, 1987; Wright, 1987).

#### 4. Méthode de Watson : règle de décalage pour l'estimation du facteur

## d'échelle locale

Afin de calculer le facteur d'agrandissement sans avoir une idée préalable des données physiologiques, Watson (1987) a proposé une méthode qui permet de calculer le facteur d'échelle en se basant sur les performances réalisées par l'observateur.

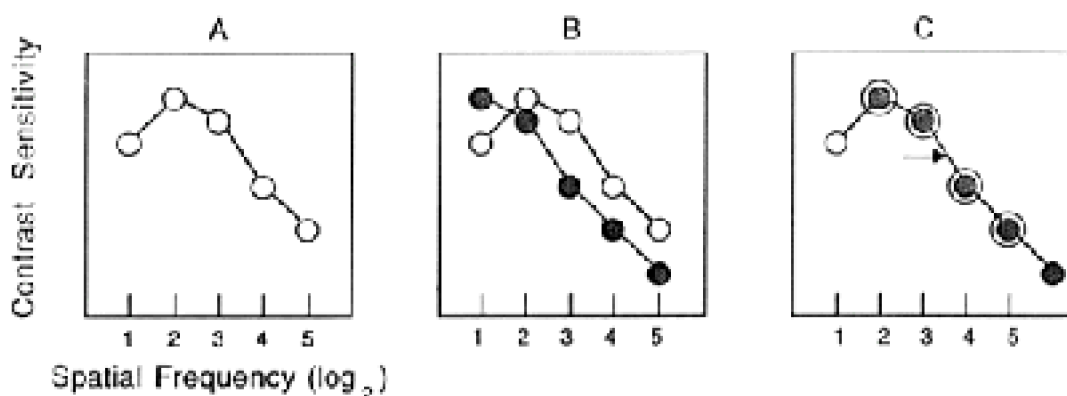


Figure 19. Estimation du facteur d'échelle locale. (A) Sensibilité au contraste en vision centrale. (B) Sensibilité au contraste en fovéa (cercles ouverts) et en périphérie (cercles noirs). (C) La courbe de la vision périphérique a été glissée à droite afin de se superposer sur la courbe de la vision fovéale. La translation horizontale représente la valeur de l'échelle locale de la vision périphérique.

Tirée de Watson (1987).

Supposons que l'on présente un ensemble de stimuli dans le champ visuel central d'un observateur, ensuite on lui présente les mêmes stimuli à une excentricité donnée. Si la différence entre la fovéa et la périphérie est **quantitative**, alors les courbes des résultats devraient être similaires pour les deux excentricités hormis un facteur d'échelle (cf. figure 19.C, la flèche). Ce décalage entre les deux courbes est le facteur d'agrandissement nécessaire pour égaliser les performances à travers le champ visuel, appelé *facteur d'échelle locale* par Watson.

En représentant la sensibilité au contraste en fonction des FS sur une échelle logarithmique, on remarquera une **translation horizontale** nous indiquant la valeur du facteur d'agrandissement spatial qui permet de rendre égale la tâche visuelle pour deux excentricités (cf. figure 19). Si une **translation verticale** est observée ceci indiquera que la sensibilité aussi a changé en fonction de l'excentricité.

Grâce à cette méthode, Watson réussit la séparation entre deux paramètres jusque là confondus :

- Changement d'échelle à travers le champ visuel.
- L'évolution d'une tâche en fonction de différentes tailles (t).

Par exemple, si  $f_c(t)$  est la fonction de détection en vision centrale et  $f_p(t)$  est la fonction de détection à une excentricité  $p$ .

$g_c(t)$  est l'évolution de la fonction d'identification en vision fovéale et  $g_p(t)$  l'évolution de l'identification à une excentricité  $p$ .

Si la différence de traitement visuel entre excentricité 1 et 2 est simplement un facteur d'échelle pour les deux tâches:

$$\text{Si } f_c(t) = f_p(t/\varepsilon_f) \\ \text{et } g_c(t) = g_p(t/\varepsilon_g)$$

où  $t$  est la taille du stimulus,  $f$  et  $g$  sont deux fonctions visuelles par exemple détection et identification, respectivement. Les lettres  $c$  et  $p$  en indice représentent la vision centrale et périphérique, respectivement,  $\varepsilon$  est le facteur de l'échelle locale (la translation horizontale sur l'axe des FS représentées sur une échelle log. base 2).

Alors les deux excentricités auront la même fonction de taille pour une tâche donnée, hormis un facteur d'échelle  $\varepsilon$ . Si cette égalité s'avère vraie pour les deux tâches  $f$  et  $g$  qui évoluent différemment selon les tailles, alors on peut comparer les deux tâches en comparant leur facteur d'échelle  $\varepsilon$ .

Si l'égalité des performances est réalisable, alors une modélisation des réponses dans le champ visuel selon un filtre variable en fonction de l'excentricité serait possible (Séré, Marendaz & Hérault, 2000).

Il est important de présenter un ensemble de stimuli ayant des tailles croissantes pour chacune des excentricités afin de pouvoir comparer les deux fonctions. En effet, supposons que l'on étudie deux tâches visuelles (détection de réseaux et tâche de vernier) à deux excentricités données en présentant la même taille aux deux excentricités. La tâche vernier va se dégrader plus rapidement en périphérie que la détection de réseaux (Levi et al., 1985; Westheimer, 1982). Ce résultat en lui-même ne nous renseignera pas sur les échelles locales des deux tâches. En effet, présenter un stimulus de même taille en périphérie équivaut à réduire sa taille en fovéa. Cette réduction aura des effets différents pour les deux tâches.

## Chapitre 3. Détection et identification dans le champ visuel

Dans le chapitre 1 nous avons traité de l'acuité visuelle et de la sensibilité au contraste. Dans le chapitre 2 nous avons présenté le facteur d'agrandissement selon une approche psychophysique. Le chapitre présent est une revue des résultats et des conclusions des expériences ayant étudié les tâches de détection et d'identification à travers le champ visuel et en utilisant différents types de stimuli.

### 1. Détection versus identification

La **détection** d'un objet et son **identification** sont deux procédures bien distinctes

(Watanabe, 1985). En effet, la détection d'un objet consiste à dire s'il est présent ou absent, ou bien d'indiquer à quel endroit on l'a aperçu, tandis que son identification consiste à le reconnaître et à lui attribuer une identité ou spécifier la localisation de son aspect critère.

Plusieurs études ont mis en évidence l'égalisation des performances de détection à travers le champ visuel après une mise à l'échelle des stimuli en fonction de leur agrandissement cortical (Strasburger & Rentschler, 1996; Rovamo & Virsu, 1979; Virsu & Rovamo, 1979). Cependant, les résultats concernant la tâche d'identification divergent en deux types. Le premier type sont des études ayant égalisé les performances de cette tâche à travers différentes excentricités du champ visuel (Higgins et al., 1996; Rovamo & Virsu, 1979) en utilisant le facteur d'agrandissement proposé par Rovamo et Virsu (1979). Le deuxième type de résultats (Farrel & Desmarais, 1990; Saarinen, Rovamo & Virsu, 1989; Strasburger et al., 1994; Strasburger & Rentschler, 1996) rejette la possibilité d'une égalisation de la tâche d'identification en utilisant un agrandissement graduel et suggère un agrandissement plus important que celui proposé par Rovamo et Virsu (1979).

## 2. Détection et identification selon le niveau de contraste

---

Lorsque les stimuli sont présentés dans la partie centrale du champ visuel il n'y a pas de différence entre le seuil de **taille** détectée et le seuil de **taille** identifiée (identification de l'orientation d'un optotype E) (Frisen, 1986). Anderson et Ennis (1999) ont présenté une lettre E infiniment petite et ont mesuré la plus petite taille détectable et la plus petite taille identifiable. Ils ont observé que le seuil de taille de détection et celui de l'identification est identique à des niveaux de bas (40%) ou haut (90%) contraste. Cependant, lorsque les stimuli étaient présentés à une excentricité de 30°, dans le champ visuel horizontal temporal, la détection était significativement meilleure que la résolution (identification de l'orientation) à différents niveaux de contraste, bas et haut.

La résolution en périphérie n'est pas modulée par les niveaux de contraste contrairement à la détection. Ceci signifie que la tâche d'identification est plutôt influencée par les facteurs d'échantillonnage alors que la tâche de détection est plutôt influencée par les facteurs optiques (i.e., diffusion de la lumière, aberration sphérique) (Anderson & Ennis, 1999).

### 2.1. Rapport de détection et d'identification en fonction de l'excentricité

Le rapport entre le seuil d'identification et celui de la détection <sup>8</sup> (I/D) d'un réseau sinusoïdal a été analysé à différentes excentricités afin de préciser jusqu'à quelle excentricité la différence entre les deux tâches est indépendante de l'excentricité (Thomas, 1987). Un rapport de 0.6 signifie que le seuil de la tâche de détection est 1.7 fois supérieur à celui de la tâche d'identification. La baisse de ce rapport signifie que la détection augmente de façon plus rapide que l'identification.

---

<sup>8</sup> Dans la tâche de **détection** l'observateur doit juger la présence ou l'absence d'un stimulus. Dans la tâche **d'identification** de réseaux, l'observateur doit juger l'orientation de la cible.



Lorsque le rapport I/D est identique à celui de la fovéa ceci signifie que les deux tâches sont indépendantes de l'excentricité. Inversement, la baisse de ce rapport indique que les deux tâches dépendent de l'excentricité. Les résultats de Thomas (1987) ont montré une différence d'évolution du rapport I/D selon la gamme des FS (cf. tableau 5).

**Tableau 5. Etendue de l'indépendance entre rapport I/D et excentricité pour les différentes FS. Données prises dans Thomas (1987).**

FS	Etendue de l'indépendance
Basses	$\leq 17.5^\circ$
Moyennes	$\leq 5^\circ$
Hautes	$\leq 5-10^\circ$

Les données du tableau 5 montrent que le rapport entre identification et détection est stable pour les FS moyennes jusqu'à une excentricité de  $5^\circ$  après laquelle il devient dépendant de l'excentricité. Ce même rapport est stable pour des réseaux de basses FS jusqu'à une excentricité de  $17.5^\circ$ .

### 3. Détection et identification de réseaux

Rovamo et al. (1978) ont mis à l'échelle les stimuli par rapport à l'excentricité rétinienne à laquelle les stimuli étaient présentés. Les facteurs d'agrandissement utilisés pour chacune des 6 excentricités étudiées par Rovamo et al. (1978) sont présentés dans le tableau 6.

**Tableau 6. Facteur de mise à l'échelle (FE) pour chacune des excentricités étudiées (E) en fonction de son agrandissement cortical ( $A_C$ ). Données prises de Rovamo et al. (1978).**

E	$0^\circ$	$1.5^\circ$	$4^\circ$	$7.5^\circ$	$14^\circ$	$30^\circ$
$A_C$	7.75	5.25	3.44	2.31	1.24	0.49
FE	1	1.48	2.23	3.36	6.25	15.1

Leurs résultats montrent que l'égalisation a été obtenue pour différentes tâches utilisant un réseau sinusoïdale : détection de sa présence, identification de la direction de son mouvement, identification de son orientation verticale ou horizontale.

Legge & Kersten (1987) proposent que les performances de discrimination entre réseaux sinusoïdaux sont égales dans toutes les excentricités inférieures à  $20^\circ$ , à condition qu'une mise à l'échelle soit appliquée sur les tailles des stimuli. Ces auteurs ont trouvé que la discrimination entre réseaux, lorsque les stimuli ont un haut contraste, ne diffère pas en fonction des excentricités. Cependant, lorsque les stimuli sont de bas contraste, une différence plus marquée entre les performances est observée.

L'identification de réseaux dans la périphérie ne change pas en fonction du niveau de contraste (Anderson & Ennis, 1999) à moins que celui-ci ne baisse à un niveau de 10% (Anderson, 1996; Thibos, Still & Bradley, 1996).

#### 4. Discrimination des distorsions d'images complexes (le visage)

---

Afin d'étudier la détection des distorsions d'images complexes, Rovamo, Mäkelä, Näsänen & Whitaker (1997) ont présenté des images de visages ayant des distorsions au niveau de la bouche et ont trouvé que le même facteur proposé par Rovamo et Virsu (1979) était suffisant pour obtenir les mêmes performances en vision périphérique de 5, 10 et 20° qu'en vision centrale. Il faut signaler la facilité de cette tâche, car les observateurs ont remarqué que la distorsion changeait l'expression globale du visage et facilitait sa détection. Il serait intéressant de refaire la même expérience mais en utilisant une image géométrique complexe afin de vérifier si la facilité est due à la perception de l'expression globale du visage ou bien à la détection de la distorsion en elle-même.

Dans une tâche d'identification de visages parmi un ensemble de plusieurs autres visages, Melmoth, Kukkonen, Mäkelä & Rovamo (2000) ont agrandi les photos par un facteur  $f$  calculé par rapport à l'équation Rovamo et Virsu (1979). Leurs résultats ont montré une impossibilité à égaliser l'identification des visages à travers les excentricités. Ces résultats ont montré, une fois de plus, que toutes les tâches ne peuvent pas avoir le même facteur  $f$  pour être égales à travers le champ visuel (Melmoth et al., 2000).

#### 5. Discrimination de phases

---

Il est bien établi que la structure de l'image est déterminée par le spectre de la phase (Oppenheim & Lim, 1981; Piotrowski & Campbell, 1982) et aussi par le spectre de l'amplitude (cf. figure 20). Plusieurs études ont montré que la vision périphérique présente des déficits de discrimination entre les phases comparativement à la vision centrale (Bennett & Banks, 1991; Braddick, 1981; Harvey, Rentschler & Weiss, 1985; Rentschler & Treutwein, 1985).

Deux conclusions s'opposent pour expliquer la discrimination des phases dans le champ visuel. Des études ont conclu que la discrimination de phases ne peut être égalisée à travers le champ visuel même si un agrandissement approprié est appliqué aux tailles des stimuli (Bennett & Banks, 1987; Braddick, 1981; Hiltz, Rentschler & Brettel, 1981; Klein & Tyler, 1981). Ces études suggèrent que la discrimination de la phase baisse plus rapidement en périphérie que la sensibilité au contraste. A l'inverse, l'étude de Morrone, Burr et Spinelli (1989) a montré que le même facteur de mise à l'échelle utilisé pour la sensibilité au contraste était suffisant pour égaliser les performances de discrimination de phases.

La différence entre les résultats de Bennett et Banks (1987) et ceux de Morrone et al. (1989) réside dans la différence entre les stimuli des deux études. La première a utilisé un stimulus de bandes limitées et la seconde un stimulus de bandes larges. Le stimulus à bandes limitées s'apprête plus à un effet de groupement et rend la tâche de discrimination plus difficile. Ainsi, il était impossible d'égaliser les performances en périphérie rétinienne.

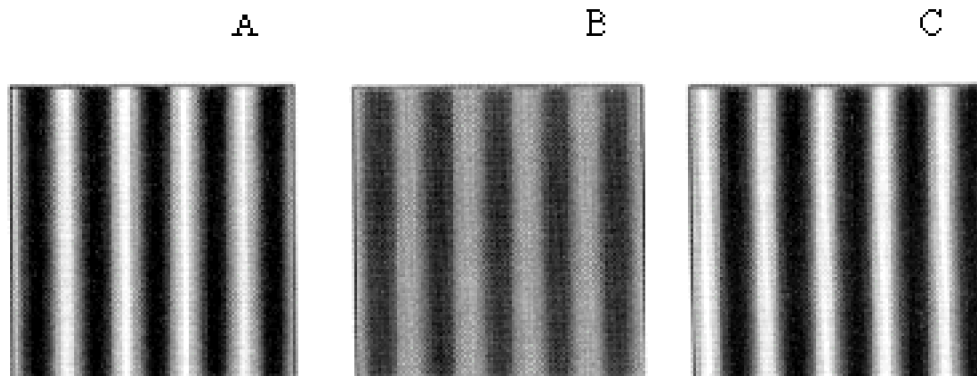


Figure 20. Réseaux sinusoïdaux. Le panneau B a une amplitude différente du panneau A. Le panneau C a une composante de phase différente de A et B, car la première ligne blanche à droite est plus large dans le panneau C que dans le panneau A.

L'étude de Higgins et al. (1996) a obtenu des résultats qui argumentent en faveur d'une égalisation des performances concernant la discrimination de phases dans la partie périphérique du champ visuel. Ces auteurs ont montré que le même facteur d'agrandissement était valable pour deux tâches telles que la détection et l'identification de phases de stimuli symétriques en miroir (b, d).

## 6. Discrimination de texture

En étudiant la discrimination entre différentes textures (des points ayant des séparations plus ou moins grandes), Saarinen et al. (1987) ont trouvé qu'à partir d'une excentricité de  $5^\circ$  les performances de discrimination baissent à un niveau de chance lorsque les tailles des stimuli sont maintenues identiques. Lorsqu'un facteur d'agrandissement était appliqué en fonction des excentricités, le même niveau de performances de discrimination de textures est atteint en périphérie qu'en fovéa (Saarinen et al., 1987; Nothdurft, 1985).

## 7. Identification de symétrie

L'identification de la symétrie de deux cibles consiste à indiquer si elles sont l'inverse en miroir l'une de l'autre ou si elles sont identiques. La discrimination de la symétrie entre deux cibles est complexe, car elle nécessite la comparaison entre les éléments des deux moitiés de la cible (Bruce & Morgan, 1975). Ainsi, la tâche de discrimination d'éléments symétriques chute de façon très rapide en fonction de l'excentricité. Le  $E_2$  de cette tâche varie entre  $1.2^\circ$  (Gurnsey, Herbert & Kenemy, 1998) et  $0.8^\circ$  (Barrett, Whitaker, McGraw & Herbert, 2000).

Dans une étude de discrimination de stimuli symétriques structurés de points randomisés, Saarinen (1988) n'a pas obtenu d'égalisation des performances à travers les excentricités, car il a utilisé le  $E_2$  de  $3^\circ$  proposé par Rovamo et al. (1979). Plusieurs études ont montré que la chute des performances de discrimination de la symétrie entre deux cibles dans la périphérie du champ visuel est comparable à celle de l'acuité de

positionnement et plus rapide que celle de la résolution (Gurnsey, Herbert & Kenemy, 1998; Saarinen, 1988; Tyler & Hardage, 1995).

Une autre étude a utilisé un pattern qui ressemble à un **S** ayant des angles droits (Saarinen et al., 1989). La tâche consistait à indiquer si les deux patterns étaient similaires ou différents (i.e., le reflet en miroir l'un de l'autre). Les résultats ont montré la nécessité d'un agrandissement supérieur à celui proposé par Rovamo et Virsu (cf. équation 3) et plus proche de l'agrandissement nécessaire pour l'acuité de positionnement proposé par Levi et al. (1985).

## 8. Identification de lettres et de caractères alphanumériques

Farrel et Desmarais (1990) ont étudié l'identification de chiffres arabes ayant différentes tailles à des excentricités de : 2, 4, 8, et 10°. Leur objectif était de vérifier si une mise à l'échelle permettait une égalisation des performances à travers le champ visuel. Les résultats ont montré l'existence d'un tel facteur d'agrandissement qui augmente en fonction de l'excentricité. En se déplaçant de 2 à 10° en périphérie, ce facteur augmente de 4 fois (cf. tableau 7).

**Tableau 7. Facteurs d'agrandissement en fonction des excentricités. Données prise dans Farrel et Desmarais (1990).**

Excentricité	2°	4°	6°	8°	10°
Facteur d'agrandissement	4.688	8.376	12.064	15.752	19.44

Ces auteurs ont obtenu une valeur de  $E_2$  égale à 0.52°. Cette valeur est très basse et signifie que la tâche est contrainte par des facteurs corticaux.

**Tableau 8. Les facteurs de mise à l'échelle ayant permis une égalisation de la lecture des lettres de Snellen dans différentes excentricités. Données de Ludvigh (1941) normalisées en fonction des excentricités utilisées par Farrel et Desmarais (1978) pour une raison de comparaison.**

Excentricité	2°	4°	6°	8°	10°
Facteur de mise à l'échelle	2.48	3.74	5	6.26	7.52

Le facteur d'agrandissement utilisé par Farrel et Desmarais (1990) était basé sur les données de Ludvigh (1941) qui a étudié l'identification des lettres de Snellen. A noter que les facteurs d'échelle utilisés par Ludvigh étaient nettement plus bas que ceux utilisés par Farrel et Desmarais. Pour l'excentricité de 10°, Farrel et Desmarais ont eu besoin d'un facteur de mise à l'échelle de 19.44 pour avoir les mêmes résultats en périphérie qu'en fovéa alors que Ludvigh n'a agrandi les tailles que par un facteur de 7.52. En d'autres termes les facteurs utilisés par Ludvigh étaient 2 fois plus bas que ceux utilisés par Farrel et Desmarais. Ces derniers ont expliqué cette différence par le type de stimuli utilisés dans les deux études.

En étudiant le contraste nécessaire pour une performance de 65% de bonnes réponses d'identification de caractères alphanumériques (chiffres arabes), Strasburger et

al. (1991) ont montré qu'à partir d'une excentricité de 6° la formule déduite des données de Rovamo et Virsu (1979) ne prédit plus les tailles nécessaires pour une égalisation des performances d'identification. L'écart entre le facteur d'agrandissement prédit par Rovamo et Virsu et celui nécessaire pour identifier les chiffres est plus important lorsque l'étude porte sur des stimuli de bas contraste (Strasburger et al., 1991).

**Tableau 9. Les tailles identifiées en fonction des plus bas seuils de contraste pour le sujet KZ. Données calculées à partir de Strasburger et al. (1991).**

Excentricité	Taille identifiée	Seuil de contraste
0°	36 min. d'arc	1.6%
2°	60 min. d'arc	1.9%
4°	60 min. d'arc	2%
8°	84 min. d'arc	3.8%

Strasburger et al. (1991) ont conclu que pour un contraste de 4% et une excentricité de plus de 6°, le facteur de mise à l'échelle calculé en fonction de la translation sur l'axe des tailles, ne permettait pas d'égaliser la performance d'identification des chiffres par rapport à celle réalisée en vision centrale.

Dans une autre étude, Strasburger et al. (1994) ont étudié l'identification des mêmes tailles en fovéa et à différentes excentricités sur le méridien horizontal. Leur résultats ont montré une translation horizontale confirmant la théorie du facteur d'agrandissement. Cependant, une translation verticale vers des niveaux de contraste plus élevés caractérise les courbes des performances dans la périphérie. Ainsi, ces auteurs ont conclu que le facteur de mise à l'échelle ne permet pas d'égaliser les courbes de sensibilité au contraste en fonction des excentricités.

Lorsque les stimuli sont de bas contraste (8-24%), le facteur d'agrandissement permet d'ajuster les données jusqu'à une excentricité de 6°. Dans les excentricités supérieures à 6°, l'égalisation des performances nécessite un haut contraste 40% (Strasburger et al., 1994).

## 9. Identification d'un ensemble de lettres

Dans une étude sur l'identification de lettres, Anstis (1974) a observé une augmentation linéaire du seuil de taille permettant une identification en fonction des excentricités. En effet, la taille à peine identifiable était de 12 min. d'arc à une excentricité de 5° et de 60 min. d'arc à une excentricité de 25°.

En partant de ces seuils, Anstis a augmenté la taille des stimuli par dix et il a construit une carte de 40 lettres, toutes identifiables lorsque le centre de la carte était fixé. Il a augmenté le nombre de lettres à 70 et il a remarqué qu'il était difficile de les identifier. La difficulté d'identification n'est pas due à la baisse de l'acuité qui a été compensée par la mise à l'échelle des tailles des stimuli mais au phénomène du **groupement** qui fera l'objet du chapitre suivant.

## Chapitre 4. Phénomène de groupement

### 1. Définition du phénomène de groupement

---

Le phénomène de groupement (*crowding* en anglais) est considéré, dans la littérature psychophysique, comme la difficulté à discriminer une cible entourée par d'autres stimuli. Cette baisse d'acuité visuelle provoquée par la présence de stimuli avoisinants a eu différentes appellations, interaction de contours (Flom, 1991; Chung & Bedell, 1995; Pascal & Abadi, 1995), difficulté de séparation (Stuart & Burian, 1962) masquage latéral (Wolford & Chambers, 1983; Loomis, 1978) ou effet de groupement (Flom, 1991; Leat, Li & Epp, 1999). Dans cette étude, le terme '*effet de groupement*' sera utilisé pour référer à la baisse des performances visuelles provoquée par la présence d'éléments distracteurs ou de barres latérales entourant la cible. Dans la suite du texte, nous utiliserons le terme *cible* pour désigner l'élément à identifier (cf. figure 21, lettre C). Nous utiliserons les termes *pourtour* lorsque les éléments sont placés autour de la cible (cf. figure 21, les barres). Le terme *flanc* sera utilisé pour désigner chacun des éléments jouxtant la cible.

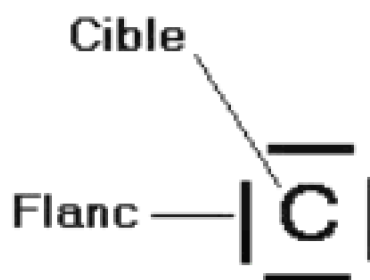


Figure 21. Structure d'un stimulus utilisé dans les expériences sur l'effet de groupement. Le stimulus est composé de deux parties : **la cible**, dans cet exemple le 'C' et **le pourtour**, ici l'ensemble des barres. Une barre seule est appelée **flanc**.

L'effet de groupement a été observé dans différentes tâches visuelles : acuité vernier (Levi et al., 1985; Westheimer & Hauske, 1975), discrimination d'orientation (Westheimer, Shimamura & McKee, 1976), identification de chiffres arabes (Strasburger et al., 1991) et identification de lettres (Bouma, 1970; Loomis, 1978; Flom, Weymouth & Kahnemann, 1963; Toet & Levi, 1992; Liu & Arditi, 2001).

L'effet de groupement se produit au niveau cortical, " *L'interaction spatiale* a lieu plus loin que le niveau rétinien, à un niveau neuronal du système visuel où les informations visuelles provenant des deux yeux sont traitées ensemble " (Flom, 1991). En effet, lorsque la cible est présentée à un œil et les flancs du pourtour à l'œil opposé (présentation dichoptique), l'effet de groupement est aussi important que lorsque les deux éléments du stimulus (la cible et le pourtour) sont présentés au même œil. Ces résultats

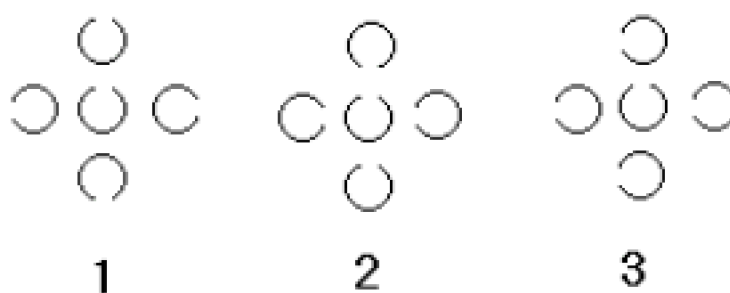
ont été obtenus aussi bien en vision fovéale (Flom, 1991) qu'à une excentricité de 10° dans le champ visuel inférieur (Kooi et al., 1994). L'effet de groupement a été étudié en vision centrale et en vision périphérique.

## 2. Groupement en fovéa

*L'étendue de l'effet de groupement* correspond à la distance entre la cible et le pourtour au dessus de laquelle le sujet identifie la cible à un pourcentage supérieur au seuil et en dessous de laquelle les performances baissent à un niveau de chance. En vision fovéale, l'effet de groupement est très léger et s'étend sur une distance de 2-6 min. d'arc. (Flom et al., 1963; Toet & Levi, 1992; Liu & Arditi, 2001) voire absent (Strasburger et al., 1991). En vision centrale, l'étendue de l'effet de groupement correspond au champ récepteur d'une colonne du cortex visuel (Levi 1991; Leat et al., 1999).

Les recherches ont montré qu'en vision fovéale l'acuité visuelle se dégrade par un facteur de 1.14 lorsque la cible est entourée par des flancs (Leat et al., 1999). L'effet de groupement n'est sensible ni à la similarité de la forme ni au fait que les éléments du flanc soient plus nombreux (Flom, 1991; Leat et al., 1999; Manny et al., 1988; Nazir, 1991).

En prenant en compte les résultats de ces dernières études, Hess, Dakin et Kapoor (2000) ont effectué une analyse **Fourier**<sup>9</sup> du spectre de l'image d'un stimulus C entouré par des barres. Ils ont observé que cette analyse prédit exactement ce qui se passe dans le phénomène de l'effet de groupement. A savoir que lorsque les barres sont proches de la cible, une interaction spatiale purement physique a lieu. Ainsi, ils ont rejeté l'explication qui attribuait l'effet de groupement à la physiologie du système visuel (Estes, Allmeyer & Reder, 1976; Flom et al., 1963; Loomis, 1978; Strasburger et al., 1991).



*Figure 22. Illustration des conditions de combinaison du stimulus. L'analyse spectrale de la condition 1 donne le même résultat que l'analyse spectrale de la condition 2. Les conditions 1 et 3 donnent des spectres différents*

Ces résultats ont été contestés par Danilova & Bandarko (2000). Ces auteurs ont observé que la combinaison du stimulus qui devait provoquer un effet de groupement similaire d'après l'analyse spectrale du stimulus (condition 2 et 3 de la figure 22), provoquait des effets différents chez les observateurs humains. De même, les

<sup>9</sup> Analyse de Fourier : décomposition d'une image en ses composantes sinusoïdales.

combinaisons qui devaient provoquer un effet de groupement différent d'après l'analyse spectrale (cf. figure 22, conditions 1 et 3), provoquait des effets de groupement similaires chez les observateurs humains. Ainsi, contrairement à Hess et al. (2000), Danilova et Bandarko (2000) proposent que l'effet du groupement en fovéa ne peut être expliqué uniquement par la physique du stimulus mais nécessite la contribution d'un facteur physiologique.

### 3. Groupement en périphérie

---

Comme dans la vision centrale, dans la vision périphérique, l'effet du groupement se dissipe en élargissant la distance séparant la cible de son pourtour (Eriksen & Rohrbaugh, 1970; Flom et al., 1963; Kooi et al., 1994; Levi et al., 1985; Strasburger et al., 1991). La distance entre cible et pourtour qui permet une meilleure performance dans le champ visuel périphérique des observateurs normaux et le champ visuel central des amblyopes strabiques<sup>10</sup> est égale à la moitié de l'excentricité à laquelle le stimulus est présenté (Bouma, 1970; Kooi et al., 1994; Toet & Levi, 1992). Par exemple, si un sujet identifie une cible flanquée par des barres à une excentricité de 5° périphérique, alors l'étendue sur laquelle on observera un effet de groupement est de 2.5°.

L'acuité visuelle baisse par un facteur de 4.25 en périphérie de 2° lorsque les cibles sont entourées par des flancs (Leat et al., 1999).

D'après l'étude de Strasburger et al. (1991) l'étendue de groupement est équivalente à 1.2°. C'est-à-dire que si l'excentricité étudiée est de 4°, les résultats de Strasburger et al. prévoient une distance d'interaction de 1.2° et les études citées plus haut prévoient une distance plus large de 2°. D'après Strasburger et al. (1991), l'effet de groupement dépend de la distance séparant la cible de son pourtour mais aussi de la *taille* des stimuli. En effet, ces auteurs ont observé que plus les tailles étaient petites plus l'effet de groupement était important. Ceci signifie que le facteur d'agrandissement cortical a un impact sur l'étendue du groupement en périphérie mais n'élimine pas ce dernier.

## 4. Caractéristiques de l'effet de groupement

---

### 4.1. Asymétrie

Plusieurs études ont montré une asymétrie de l'effet des flancs entourant la cible sur les performances visuelles (Bouma, 1970; Banks & Larson, 1979; Wolford & Hollingsworth, 1974; Sußmann, 1993). En effet, comme le montre la figure 23, en fixant le point à gauche, il est plus facile d'identifier le **a** dans la condition 2 que dans la condition 1, bien que dans la condition 1 le **a** soit plus proche du centre de la fovéa qui assure une acuité

---

<sup>10</sup> Amblyopie : baisse de l'acuité visuelle sans lésion apparente de l'œil, sans atteinte cliniquement décelable des voies optiques. A noter que des analogies ont été faites entre la vision périphérique et la vision centrale des sujets amblyopes concernant : l'acuité la sommation spatiale (Flynn, 1967; Levi, Harwerth, Pass & Venverloh, 1981) et la sensibilité au contraste (Katz, Levi & Bedell, 1984). Amblyopie **strabique** : amblyopie due au non usage de l'œil dévié en cas de strabisme.



visuelle plus élevée.



*Figure 23. Illustration de deux conditions provoquant un effet de groupement. 1- le flanc X est plus loin et la cible a est plus proche du point de fixation. 2- le flanc est plus proche et la cible est plus loin du point de fixation.*

“Il est surprenant que les lettres les plus éloignées du point de fixation aient un meilleur score que les lettres les plus proches” (Bouma, 1973). Cet effet était observé pour les mots comme pour les non-mots indiquant que la familiarité du mot n’a pas d’effet. L’auteur a conclu que l’effet de groupement agissait surtout vers la fovéa ; un flanc proche de la fovéa crée plus d’interaction spatiale qu’un flanc éloigné.

#### 4.2. Nombre d’éléments entourant la cible

Strasburger et al. (1991) ont montré que lorsque la cible était flanquée d’un chiffre à droite et d’un chiffre à gauche, l’effet de groupement était moins fort que lorsque la cible était flanquée de deux chiffres à droite et deux chiffres à gauche (cf. figure 24, conditions a et b). Ces auteurs ont proposé que l’interaction entre la cible et le pourtour ne dépend pas uniquement du pourtour le plus proche. En effet, le deuxième flanc à gauche et le deuxième flanc à droite sont très loin pour provoquer un effet de groupement, mais leur présence rajoutée aux stimuli proches de la cible fait la différence en créant un effet de groupement plus important (cf. figure24, condition c).



*Figure 24. Illustration de l’effet de groupement. (a) La condition provoque une difficulté à identifier la cible ‘2’. (b) Cette difficulté est encore plus marquée dans cette condition. (c) La même condition que (b) sans les flancs les plus proches baisse de façon considérable la difficulté de discrimination de la cible de la condition*

#### 4.3. Similarité dans l’effet de groupement

L’amplitude de l’interaction spatiale dépend du degré de similarité entre la cible et le pourtour. La similarité concerne tous les traits qui structurent un stimulus : l’orientation, la taille, le contraste, la polarité et la forme.

### ORIENTATION

La similarité de l'orientation entre la cible et le pourtour augmente l'effet de groupement. Lorsque la cible avait la même orientation que le pourtour, la détection du pivotement d'une ligne était considérablement baissée (Andriessen & Bouma, 1976). Ces auteurs ont observé que l'étendue de l'interaction était de 0.4 fois l'excentricité à laquelle le stimulus était présenté et elle était de 0.25 fois l'excentricité lorsque l'orientation des lignes était orthogonale à celle de la cible.

### TAILLE

Loomis (1978) a obtenu des résultats qui montraient qu'en augmentant la taille des flancs l'effet de groupement n'augmentait pas. Ainsi, il a conclu que la taille absolue du flanc n'avait pas d'effet sur l'augmentation de l'effet de groupement. Ensuite, Nazir (1991) a montré que l'effet de groupement n'est pas amplifié par des flancs de plus grande taille mais plutôt par des flancs de taille similaire à celle de la cible.

### POLARITÉ

Pour un même stimulus, lorsque le contraste est le même et que la polarité est inversée (blanc/noir) l'étendue de l'effet de groupement baissait par un facteur de 2 (Kooi et al., 1994). L'explication la plus vraisemblable d'après ces auteurs est la saillance "*pop-out*" de la cible par rapport au pourtour.

### FORME

Kooi et al. (1994) ont étudié l'identification de l'orientation de la lettre T entourée de quatre T (au dessus, au dessous, à gauche et à droite). Afin de vérifier si c'était le nombre de flancs ou la similarité de la forme qui augmentait l'effet de groupement, ces auteurs ont expérimenté les performances d'identification de l'orientation de la cible 'T' dans deux autres conditions. Dans l'une d'elles, la lettre T était entourée de deux barres verticales '||' ayant la même taille que les deux lignes structurant la cible. Dans l'autre, la cible était entourée par deux barres horizontales '='. Les auteurs ont observé une étendue d'effet de groupement de 3° pour les deux conditions || & =. Pour la condition de cible et pourtour de forme similaire, ils ont observé une étendue de 4.45°. Ainsi, ce n'est pas le nombre d'éléments constituant le pourtour qui influence l'effet de groupement mais plutôt la façon dont ces éléments sont combinés pour former un flanc similaire à la cible. Kooi et al. appellent cet effet le "*grouping*" ou **création de groupe**. Plus les flancs deviennent similaires à la cible plus ils deviennent une partie d'un groupe perceptif rendant la cible plus difficile à isoler du pourtour et baissant son pop-out.

Kooi et al. (1994) ont conclu que l'étendue de l'effet du groupement n'était pas influencée par le nombre d'éléments mais plutôt par la façon dont ceux-ci étaient combinés pour former un distracteur similaire à la cible.

En résumé, lorsque la cible et le pourtour sont similaires les performances visuelles de discrimination de la cible chutent de façon drastique. Cependant, lorsque la cible

---

diffère par une caractéristique donnée (son orientation, sa polarité, sa forme) il est plus facile à l'observateur de l'identifier. Cette amélioration des performances en fonction de la différence entre la cible et son pourtour nous renvoie au concept de la **saillance**.

## 6. Saillance et effet de groupement

---

Lorsque la cible diffère par un seul trait saillant, par exemple une ligne verte parmi un groupe de lignes rouges le sujet effectue une recherche parallèle et distingue la cible de façon pré-attentionnelle. Dans cette situation, la cible attire l'attention " saute aux yeux " et le temps de détection n'augmente pas en fonction du nombre de distracteurs. Dans le contexte de la recherche parallèle d'un item d'orientation différente, celui-ci produit le plus haut niveau d'activité quel que soit le nombre d'items. Il est le premier à attirer notre attention, donnant l'impression que " la cible elle-même saute en dehors du stimulus pour saisir l'attention " (Wolfe, 1994).

Cependant, lorsque la cible diffère par une conjonction d'attributs (par exemple une ligne grise verticale dans un environnement de lignes grises horizontales et de lignes noires verticales) la recherche se fait de façon plus lente, item par item (Treisman & Gelade, 1980). Dans cette situation la cible " ne saute pas aux yeux " et le temps de détection augmente en fonction du nombre d'items distracteurs (Treisman, 1985).

## 7. Attention et effet de groupement

---

Wolford et Chambers (1983) ont conclu que l'effet de groupement consiste en deux processus, l'un de **bas niveau** et l'autre de **haut niveau**. Le premier est une interaction entre les traits de la cible et du pourtour et apparaît sur des distances très courtes. Le deuxième est dû à un effet attentionnel et a lieu sur de larges distances entre la cible et le pourtour.

Ces arguments sont renforcés par les conclusions de Strasburger et al. (1991) qui ont remarqué que les 40% des erreurs commises par les observateurs étaient des confusions qui correspondaient aux chiffres qui avoisinaient la cible. La confusion était répartie de façon égale entre les stimuli les plus proches de la fovéa et ceux qui étaient les plus éloignés. Ces auteurs ont conclu que c'est le déplacement de l'attention vers d'autres stimuli qui provoque l'effet de groupement. En effet, les observateurs au lieu d'identifier la cible, un chiffre présenté au milieu de deux autres chiffres, donnaient souvent comme réponse l'un des chiffres avoisinants.

Leat et al. (1999) ont observé que lorsque le C était entouré par d'autres C, les performances dépendaient du mode de présentation des flancs du pourtour. En effet, lorsque les flancs étaient orientés dans la même direction tout au long d'une même session l'effet de groupement était moins important que dans la condition où les flancs étaient orientés de façon aléatoire. Ces auteurs ont conclu qu'un effet attentionnel amplifiait l'effet de groupement, puisque dans les deux situations les flancs étaient identiques hormis leur présentation qui était connue d'avance dans la première condition et aléatoire dans la deuxième.

## 2. Bases physiologiques de l'effet de groupement

---

Lorsqu'une forme est présentée sur un fond, les cellules de V1 ont une activité de 40% plus importante lorsqu'elles répondent à la forme que lorsqu'elles répondent au fond de la figure (Lamme, 1995). La réponse des neurones augmente lorsqu'ils sont stimulés par forme qui diffère du fond de la figure par sa disparité, sa couleur ou sa texture (Zipser, Lamme & Schiller, 1996) ou par son orientation ou sa direction (Lamme, 1995).

Chez le chat, lorsque les cellules de V1 étaient stimulées par l'orientation préférée, Lamme (1995) a observé une **facilitation** ou **inhibition** par la présence de barres avoisinantes présentées à une distance de 2-3° voire 24° de la cible. Lorsque ces mêmes barres avoisinantes (qui modulent la réponse de la cellule) étaient présentées seules, elles ne provoquaient aucune réponse (Jones, 1970). La modulation des réponses des cellules de V1 par la présence de stimuli avoisinants a été expliquée par les interactions latérales ou les connexions feed-back (Gilbert, 1992; Lamme, 1995).

### Interaction latérale

Les couches 2/3 et 5 du cortex visuel primaire se caractérisent par des fibres qui se diffusent horizontalement (Rockland & Lund, 1983). Elles relient entre elles les cellules ayant la même sélectivité à l'orientation sur des distances qui s'étalent sur plusieurs millimètres (Gilbert & Wiesel, 1989). Ces connexions constituent probablement une partie du substrat neuronal sous-tendant les modulations contextuelles des réponses (Lamme, 1995).

### Feed-back

Certaines théories ont proposé que le traitement visuel était itératif et que les entrées forward sont transformées par des connexions en feed-back provenant d'aires extrastriées (Singer, 1993; Tononi, Sporns & Edelman, 1992). Cette idée était confirmée par les résultats de Lamme (1995) qui a proposé que l'activation des cellules par une forme sur fond a lieu dans un intervalle de 30-40 msec. Cet auteur a proposé que ce temps permettait aux cellules de recevoir une information des aires plus hautes dans la hiérarchie.

## 8. Taille du champ récepteur et effet de groupement

---

Un champ récepteur unifié est la combinaison des champs récepteurs de toutes les cellules d'une seule colonne du cortex visuel. Hubel et Wiesel (1977) ont estimé la taille du champ récepteur unifié à 0.1 degré dans la fovéa et à 0.5 degré en périphérie de 7° d'excentricité. Les estimations de Hubel et Wiesel ont confirmé les résultats obtenus dans des études psychophysiques qui indiquaient que l'étendue de l'interaction est de 6 min. d'arc en fovéa (Flom et al., 1963). Ainsi, en vision fovéale, il est conclu que l'effet de groupement apparaît lorsque la cible et le pourtour sont reçus par le même champ récepteur d'une même colonne et provoquent une interaction inhibitrice entre les traits du

---

stimulus. Cependant, en vision périphérique l'étendue de l'effet de groupement dépasse de loin le champ récepteur d'une colonne. D'après de nombreuses études, à une excentricité de 7° l'étendue de groupement est égale à 3.5° (Bouma, 1970; Kooi et al., 1994; Toet & Levi, 1992).

## 9. Facteur d'agrandissement et effet de groupement

---

Farrel et Desmarais (1990) ont présenté simultanément deux chiffres à deux excentricités différentes ayant un agrandissement approprié. Ils ont observé que le facteur nécessaire pour une identification de deux chiffres en périphérie est le même que celui utilisé lors d'une présentation d'un seul chiffre. Ils ont suggéré que si la distance entre les deux stimuli est de 1.053 fois la hauteur de la taille du chiffre alors l'information des deux stimuli est traitée séparément. Si la taille du stimulus est de 12.65 min. d'arc à une excentricité de 1.9° alors la distance séparant les deux stimuli doit être de 13.32 min. d'arc. D'après ces auteurs cette séparation (1.053 fois la hauteur) est suffisante pour permettre aux deux stimuli d'envoyer la même quantité d'information que s'ils étaient présentés séparément. La séparation nécessaire proposée par Farrel et Desmarais est environ identique à celle proposée par Strasburger et al. (1991) et moins importante que celle proposée par Bouma (1970).

## 10. Canaux sélectifs et effet de groupement

---

Plusieurs études proposent l'existence de canaux spatiaux sélectifs à des gammes de **FS** (Campbell & Robson, 1968; Graham & Nachmias, 1971; Graham & Robson, 1987; Sachs, Nachmias & Robson, 1971; Sagi & Hochstein, 1983; Tolhurst & Barfield, 1978; Watson, 1982) et d'**orientation** (Kulikowski, Abadi & King-Smith, 1973).

Les canaux traitent les informations de façon indépendante lorsque celles-ci sont différentes. Ceci implique que l'activité d'un canal n'affecte pas l'activité du canal avoisinant qui traite une FS ou une orientation différente. Cependant, lorsque les informations concernant la cible et le pourtour sont similaires, l'activité d'un canal dépend de l'activité des canaux avoisinants et reçoit des entrées inhibitrices.

En vision fovéale, les entrées provenant des canaux avoisinants peuvent avoir un effet facilitateur. Polat et Sagi (1993) ont trouvé un effet de facilité de la détection (baisse du seuil de contraste par rapport au seuil initial) d'une cible en forme de segment gabor flanquée latéralement par deux segments gabor à gauche et à droite. L'effet de facilité ou la baisse du seuil de contraste était encore plus important après une période **d'apprentissage** sur 40 sessions (Polat & Sagi, 1994). L'apprentissage perceptif a été mis en évidence dans différentes tâches visuelles par la baisse des seuils et aussi par l'amélioration de la sensibilité des observateurs. Il sera le sujet du chapitre suivant.

# Chapitre 5. Apprentissage Perceptif

L'apprentissage perceptif se caractérise par une amélioration des performances de bonnes réponses qui a lieu rapidement après le début de l'expérience. Il apparaît sans aucun renforcement et n'engage pas de processus conscients mais plutôt des processus inconscients (Sagi & Tanne, 1994).

L'apprentissage perceptif se développe au même moment que les modifications des connexions entre l'œil et le cerveau. Ces connexions se développent pendant l'enfance et améliorent la précision de la topographie et de la résolution (Hubel & Wiesel, 1977; Mohn & Van Hof-Van Duin Regan, 1991). Si le fonctionnement de ces connexions est perturbé suite à un manque de stimulation visuelle appropriée (i.e., cornée opaque, strabisme) l'apprentissage perceptif sera perturbé et l'acuité visuelle n'atteint pas le niveau de celle d'un adulte normal (Levi & Klein, 1985).

L'apprentissage perceptif se manifeste aussi chez l'adulte et dans différentes tâches visuelles telles que l'hyperacuité (McKee & Westheimer, 1978; Poggio, Fahle & Edelman, 1992), la détection de réseaux (De Valois, 1977; Mayer, 1983), la discrimination des phases (Fiorentini & Berardi, 1981), la détection de mouvement (Ball & Sekuler, 1987), la discrimination de la texture (Gurnsey & Browse, 1987; Karni & Sagi, 1991), l'exploration visuelle (Steinman, 1987) et l'identification de formes (Nazir & O'Regan, 1990).

Certaines études ont montré que l'apprentissage est sélectif à la localisation dans le champ visuel. Ainsi, ce qui est appris dans une zone du champ visuel ne l'est pas dans une autre (Karni & Sagi, 1991; Nazir & O'Regan, 1990; O'Toole & Kersten, 1992). Il l'est aussi à l'orientation, car l'apprentissage d'une orientation ne permet pas d'obtenir de hautes performances lorsque l'orientation est différente de celle qui était précédemment apprise (Ball & Sekuler, 1987; Karni & Sagi, 1991; Mayer, 1983; Schoups, Vogels & Orban, 1995). Enfin, il est aussi spécifique aux fréquences spatiales (Fiorentini & Berardi, 1981) et à la direction du mouvement (Ball & Sekuler, 1987). En vision périphérique, l'apprentissage perceptif est très fort et il est spécifique à la localisation rétinienne, c'est-à-dire que ce qui est appris dans une partie de la rétine il ne l'est pas dans l'autre.

L'apprentissage s'étend sur des milliers d'essais et persiste pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines même après que les observateurs aient fini de passer les expériences (Fahle & Edelman, 1992; Ball & Sekuler, 1987).

Jusqu'à présent, les techniques utilisées pour détecter l'apprentissage perceptif consistaient à estimer en fonction des sessions : 1) l'amélioration des probabilités de bonnes réponses pour discriminer les plus faibles différences (Fiorentini & Berardi, 1981), 2) la baisse des seuils (Fahle & Edelman, 1992; Levi & Polat, 1996) ou 3) l'amélioration de la sensibilité des observateurs à la cible en fonction des sessions (Ball & Sekuler, 1987). Cependant, ces techniques ne nous renseignent pas sur la règle utilisée par l'observateur pour classer une image, ni sur ce qu'il a appris.

Afin de pallier à ces lacunes et de permettre une comparaison pertinente entre l'apprentissage en vision centrale et l'apprentissage en vision périphérique, nous proposons une approche innovante de la technique d'Ahumada (1996) et Sandusky et Ahumada (1971).

---

## Technique d'Ahumada

---

La technique de **classification d'image** a été d'abord utilisée dans le domaine de l'audition . Elle a été appliquée récemment à la vision (Ahumada, 1996; Thomas & Knoblauch, 1998). Le principe de cette technique est le suivant. Au cours d'une expérience, on présente aléatoirement à l'observateur soit un bruit seul, soit un signal de faible intensité additionné au bruit. A noter que dans le domaine de la vision, le bruit est une variation aléatoire des caractéristiques du signal. La tâche de l'observateur est de détecter le signal (présent/absent) ou de discriminer entre plusieurs signaux. Quatre types de réponses sont possibles : une détection correcte (DC), une fausse alarme (FA), une omission (O) ou un rejet correct (RC) (cf. chapitre 1 de la partie III).

Le stimulus étant hautement bruité, il est supposé que la probabilité de répondre 'présent' est plus importante lorsque les indices visuels présents dans le bruit correspondent à ceux utilisés par l'observateur afin de traiter le signal. Pour analyser ces indices, il est nécessaire de trier les différents bruits aléatoires utilisés dans les différents essais selon la réponse de l'observateur.

En se basant sur la technique de la **moyenne du signal**, Ahumada a développé une méthode pour étudier le prototype utilisé par l'observateur dans la prise de ses décisions à propos de la présence ou de l'absence du signal. Les moyennes des bruits présentés aux essais ayant engendré les deux réponses 'présent' (i.e., DC et FA), contiennent les indices visuels du bruit qui sont corrélés avec la stratégie de classification d'image utilisée par l'observateur. Les moyennes des bruits qui ont entraîné la réponse 'absent' (i.e., CR et O) constitueront la partie anti-corrélée. En soustrayant la partie anti-corrélée à la partie corrélée, on obtient l'image utilisée par l'observateur pour décider de la présence de l'image. C'est l'image de classification perceptive, révélatrice de la façon dont l'observateur a pondéré ou classifié les informations du stimulus pour prendre sa décision. En effet, il s'agit d'une **estimation du prototype** en mémoire auquel l'observateur apparie le stimulus pour prendre sa décision.

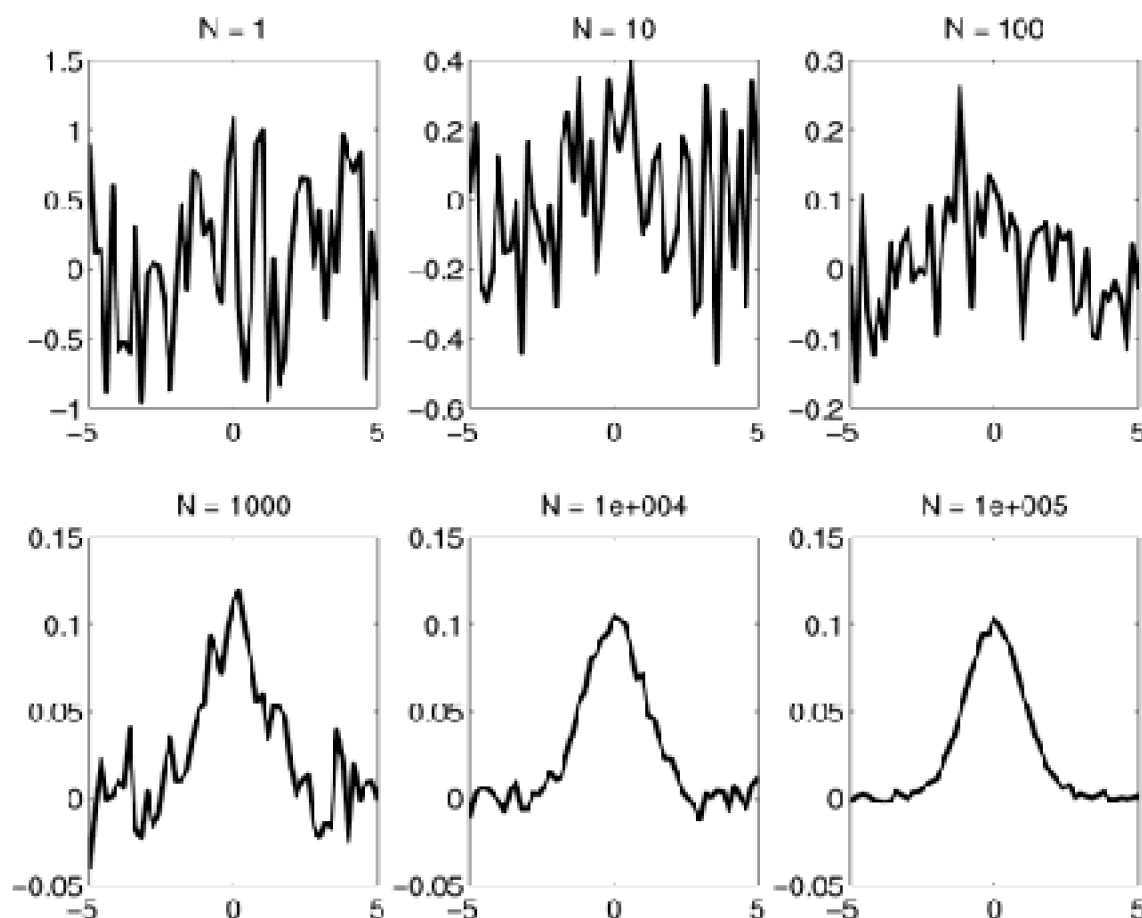


Figure 25. Schématisation de l'émergence d'une gaussienne présentée dans un bruit. Le premier panneau est le résultat d'un seul essai, le deuxième résulte de 10 essais. Le pas du nombre d'essais d'un panneau à l'autre change par un facteur de 10. Le dernier panneau est le résultat de 100.000 essais. Les échelles des axes des ordonnées changent d'un panneau à l'autre.

La logique utilisée par Ahumamda est la suivante. Lorsqu'un signal fixe, même s'il est très léger, est dissimulé dans un bruit aléatoire, après plusieurs essais, la moyenne du bruit va tendre vers zéro et permettra au signal d'émerger.

Cette logique est expliquée dans la figure 25 où une gaussienne de faible amplitude (10 %) est additionnée à un bruit uniforme qui varie entre  $-1$  et  $+1$ . La formule qui a engendré la gaussienne est la suivante :

$$f(x) = 0.1 * \exp(-0.5 * x^2) ; (7)$$

où  $f(x)$  est la courbe gaussienne,  $x$  est une valeur allant de  $-5$  à  $+5$ . Cette courbe a été calculée de la manière suivante. Du premier au dernier panneau, les courbes sont les moyennes de 1, 10, 100, 1000, 10.000 et 100.00000 essais (cf. Figure 25). L'augmentation du nombre de répétitions provoque une baisse systématique du bruit et laisse apparaître une gaussienne.

Cette logique est issue de la **théorie du traitement du signal** qui suppose que lors



des enregistrements physiologiques, le signal est dissimulé dans un bruit. Si l'enregistrement est répété un grand nombre de fois, alors le bruit va tendre vers zéro et le signal physiologique émergera systématiquement.

De la même manière, l'observateur, qui connaît la forme du signal, classe l'image en la comparant à un prototype qu'il a en mémoire. Ahumada suppose que les indices utilisés par l'observateur pour juger le signal comme présent (FA et DC) ont quelque chose de systématique qui ressortira après un grand nombre d'essais. Tout comme la gaussienne qui se dessine de mieux en mieux en fonction du nombre d'essais exécutés (cf. figure 25).

Afin de décider si le signal est présent ou absent, l'observateur se fie à la ressemblance entre le stimulus et son propre prototype (ou le schéma de la forme du stimulus). Ceci peut être modélisé par une corrélation. Si  $P$  est le prototype stocké dans la mémoire de l'observateur et  $S$  est le stimulus, alors lorsque le produit scalaire <sup>11</sup>  $P * S$  est supérieur à un niveau critère, l'observateur répond que le signal est présent. Si ce produit scalaire est inférieur au critère, alors l'observateur répond que le signal est absent.

## Approche innovante de la technique d'Ahumada

Afin de mieux comprendre l'apprentissage perceptif et d'ouvrir la possibilité de comparer l'évolution de l'apprentissage d'un prototype en vision fovéale et en vision périphérique, nous utiliserons la technique de classification d'images développée par Ahumada dans le domaine de l'apprentissage perceptif.

La logique de l'expérience sera la suivante. L'observateur doit détecter un signal dont il ignore la forme. Il est guidé par un feed-back sonore qui lui annonce la bonne réponse concernant le stimulus qu'il vient de détecter. L'avantage d'appliquer la technique de la **classification d'image** à l'apprentissage perceptif est double. Premièrement, elle nous renseignera sur le profil du prototype utilisé par l'observateur dans sa décision. Deuxièmement, elle nous permettra de suivre l'évolution de l'acquisition d'un prototype inconnu par l'observateur en fonction des sessions d'entraînement.

## Conclusions et questions

Le champ visuel est représenté différemment selon qu'il s'agit de sa partie centrale ou de sa partie périphérique. L'agrandissement voué à la partie centrale augmente de la rétine au CGL et du CGL au cortex strié. La représentation spatiale est différente d'une aire corticale à l'autre. Les aires primaires (V1 et V2) ont une représentation topographique qui voue une grande superficie à la représentation du champ visuel central alors que dans les aires les plus éloignées (V6 et MT), le champ visuel central ne bénéficie pas

<sup>11</sup> Le produit scalaire est la somme des produits point par point. Considérons deux vecteurs: A et B.  $A=[a_1 \ a_2 \ a_3]$  le vecteur  $B = [b_1 \ b_2 \ b_3]$ . Le produit scalaire =  $(a_1*b_1) + (a_2*b_2)+(a_3*b_3)$ .

d'agrandissement.

En se basant sur les études physiologiques du système visuel, Rovamo et Virsu (1978) ont proposé un même facteur de mise à l'échelle pour égaliser les performances dans différentes tâches visuelles à travers le champ visuel. La revue de l'ensemble des arguments théoriques et expérimentaux qui expliquent l'évolution des tâches de **détection** et d'**identification** à travers le champ visuel montre qu'il n'y a pas d'unanimité dans le sens d'une égalisation de ces deux tâches.

Dans plusieurs études, l'agrandissement des tailles des stimuli en fonction de leur emplacement en périphérie comme le propose Rovamo et Virsu n'a pas permis d'égaliser ces deux tâches visuelles (Farrel & Desmarais, 1990; Strasburger et al. 1994; Strasburger & Rentschler, 1996). En effet, le facteur de mise à l'échelle de la tâche d'identification est plus grand que celui nécessaire pour la tâche de détection. En revanche, l'étude de Higgins et al. (1996) a montré que le même facteur d'agrandissement était valable pour les deux tâches. Cette contradiction nécessite d'être éclaircie afin de trancher en faveur d'un modèle à **échelle unique** ou d'un modèle à **double échelle**.

Ainsi, la troisième partie de cette thèse sera organisée de la manière suivante. Le premier chapitre sera consacré à l'étude de la détection et de l'identification dans trois excentricités et a pour objectif de répondre à deux questions principales. La première question concerne la différence entre la vision centrale et la vision périphérique. S'agit-il d'une différence **quantitative** ? En d'autres termes, lorsque la même tâche est exécutée à travers différentes excentricités a-t-elle la même fonction de sensibilité hormis un décalage horizontal sur l'axe des tailles en log (cf. figure 26, condition A) ? Ou bien s'agit-il d'une différence **qualitative** ? En d'autres termes, la fonction visuelle évolue-t-elle de façon différente dans les deux parties: centrale et périphérique du champ visuel (cf. figure 26, condition B). La deuxième question concerne la différence d'évolution entre les deux tâches (détection et identification) supposées être contraintes par des facteurs différents (rétinien et cortical respectivement). Ont-elles besoin d'une mise à l'échelle identique ou différente, à savoir plus importante pour la tâche de détection que pour la tâche d'identification ?

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude de l'**interaction spatiale** ou l'**effet de groupement** qui est contraint par un facteur cortical. Cet effet est plus important en vision périphérique qu'en vision fovéale même après agrandissement spatial approprié du stimulus. Le but de cette étude est double, d'abord connaître la distance critique entre deux stimuli qui permet de les distinguer en vision périphérique. Ensuite, connaître l'ampleur de l'influence des caractéristiques physiques des éléments du pourtour (e.g. FS, contraste, orientation) sur l'ampleur de l'effet de groupement ?

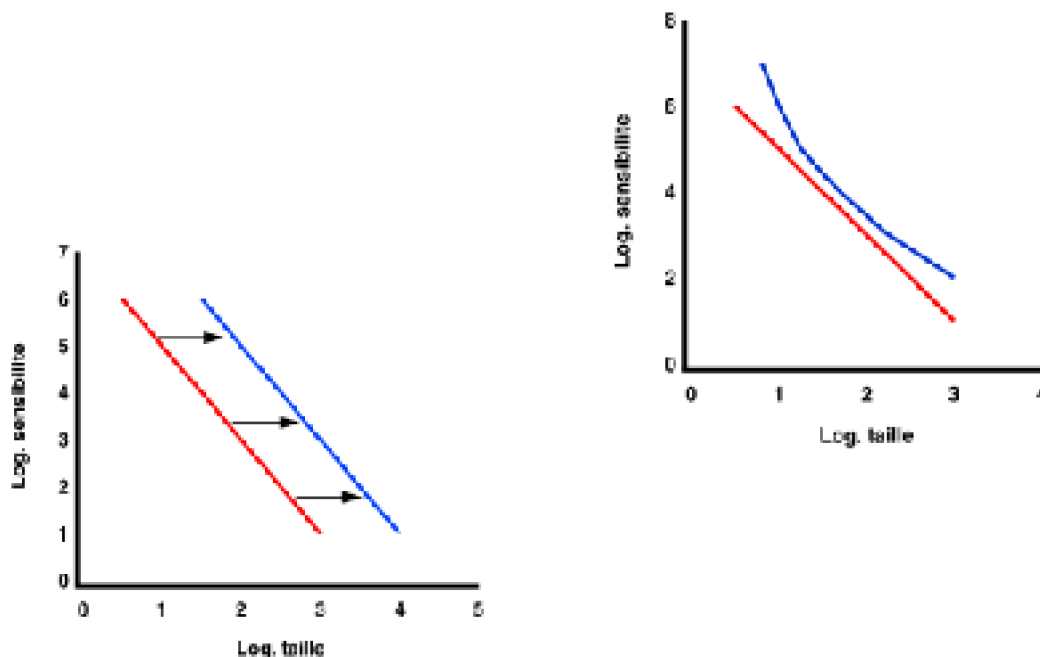


Figure 26. Représentation schématique d'un changement d'une fonction visuelle dans deux excentricités. (A) Changement **quantitatif** : la seule différence entre les deux courbes est une translation horizontale. (B) Changement **qualitatif** : la fonction de la deuxième excentricité (en bleu) est décalée sur l'axe des tailles mais elle n'a pas la même forme que la première excentricité (en rouge).

L'objectif du troisième chapitre est de poser les fondements d'une approche innovante qui mesurera l'**apprentissage** perceptif et schématisera la forme apprise par l'observateur. Plusieurs expériences ont observé un effet de pratique et ont mis en évidence un apprentissage perceptif (McKee & Westheimer, 1978; Poggio, Fahle & Edelman, 1992; De Valois, 1977; Mayer, 1983; Fiorentini & Berardi, 1981; Ball & Sekuler, 1987; Gurnsey & Browse, 1987; Karni & Sagi, 1991; Steinman, 1987) plus spécialement dans la partie périphérique du champ visuel (Beard, Levi & Reich, 1995). Ces expériences ont étudié l'amélioration des performances, l'augmentation de la sensibilité ou la baisse des seuils.

Afin d'ouvrir de nouvelles perspectives dans l'étude de l'apprentissage perceptif, le troisième chapitre sera consacré à la mise en place d'une nouvelle technique permettant de répondre à plusieurs interrogations. La technique utilisée dans l'étude de classification d'images proposée par Ahumada (1996) est-elle applicable à la mesure de l'apprentissage perceptif ? Est-il possible d'apprendre un signal dont la forme est inconnue ? Si l'observateur n'a pas appris la forme souhaitée, est-il possible de savoir quelle forme a-t-il appris ? Une application future de cette technique à travers le champ visuel permettra une meilleure comparaison et une meilleure compréhension des différences entre la vision centrale et la vision périphérique.



# Partie III

## Chapitre 1. Méthode psychophysique

L'approche psychophysique est le domaine principal de la présente étude. C'est pourquoi, une introduction théorique de la méthode utilisée s'avère nécessaire. L'objectif général de la psychophysique est d'étudier les variations des stimuli physiques et les variations psychologiques concomitantes (Bagot, 1999). Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts que nous retrouverons dans la partie expérimentale, à savoir : la théorie du seuil, la méthode du stimulus constant et la mesure de sensibilité proposée par la théorie de la détection du signal.

### 1. Procédure psychophysique :

---

La procédure psychophysique met en œuvre :

- un stimulus présenté dans des conditions physiques hautement contrôlées.
- un observateur à qui il est demandé de choisir une réponse sur un nombre de réponses restreint.

L'apparition du stimulus provoque une réponse sensorielle. Cette dernière constitue la

---

vertu de la loi du droit d'auteur.

base sur laquelle se fonde la réponse de jugement donnée par l'observateur. La seule réponse que l'on peut étudier est la réponse du jugement, **la réponse sensorielle étant inaccessible**. C'est avec des protocoles expérimentaux bien déterminés, permettant une réponse très rapide de l'observateur que la relation réponse sensorielle / réponse de jugement est considérée comme maintenue constante. La réponse du sujet est considérée significative lorsque la probabilité de bonnes réponses atteint une valeur critère définie par l'expérimentateur en fonction de sa méthode et de ses objectifs. Le **seuil** est le niveau de l'intensité du stimulus ayant engendré cette valeur critère.

La psychophysique fournit des techniques d'exploration des sens mais elle a aussi mis sur pied la théorie du seuil (Gordon, 1989).

## 2. Théorie du seuil

---

La notion du seuil est le concept central en psychophysique. Afin de mesurer et d'expliquer le seuil on doit se concentrer sur la propriété du stimulus et la sensation ou la réponse provoquée par ce dernier.

Notre système visuel commence à percevoir une lumière lorsqu'elle atteint un niveau critère. Que se passe-t-il lorsque l'intensité du stimulus est augmentée d'une valeur que l'on ne peut pas détecter à une valeur que l'on peut détecter ? Existe-t-il une valeur en dessous de laquelle l'impact du stimulus est tellement bas qu'aucun message n'est détecté par le cerveau et au dessus de laquelle le message est détecté ?

### 2.1. Seuil théorique

Le seuil est la valeur en dessous de laquelle le stimulus produit une énergie neuronale insuffisante pour déclencher un événement critique dans le système nerveux et au-dessus de laquelle le système est activé. Cette valeur est dite théorique parce qu'elle résulte d'un calcul statistique de probabilité.

Un observateur idéal aurait un seuil parfait en dessous duquel il ne perçoit jamais le stimulus et au-dessus duquel il perçoit toujours le stimulus. Cela signifie que le système a un état 0 (non stimulé) et un état 1 (stimulé) et aucun état intermédiaire, cette idée est représentée à la figure 27.

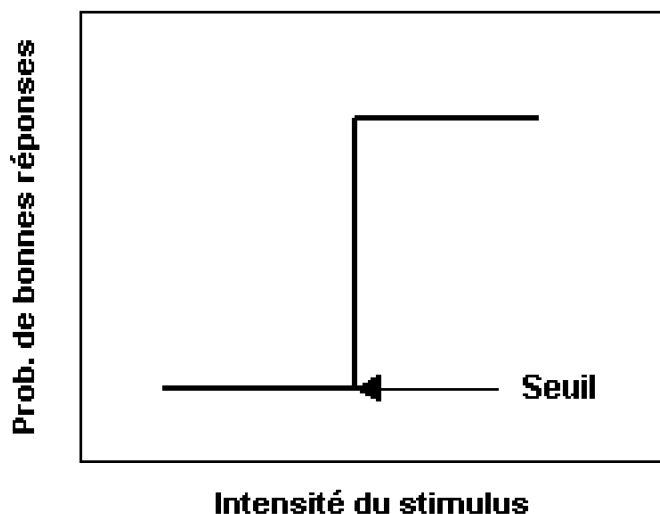


Figure 27. représentation d'un seuil théorique. Prob. Signifie probabilité

Dans les études comportementales, les réponses des observateurs sont généralement distribuées de façon plus graduelle. Elles ont un minimum et un maximum et des valeurs intermédiaires.

## 2.2. Seuil opérationnel

La définition précédente du seuil est théoriquement satisfaisante, mais elle s'avère inadaptée lorsque l'on cherche à déterminer le seuil de façon expérimentale chez les observateurs humains. En effet, dans cette situation il existe deux types de bruit.

Le premier est un **bruit intrinsèque** qui consiste en changements momentanés de l'attention du sujet et en activité aléatoire du système nerveux. En effet, même si aucun stimulus n'est présenté, il y a toujours au minimum une activité neurosensorielle spontanée, une activité de fond qui fait que le système n'est pas au repos absolu. Le deuxième est un **bruit extrinsèque** qui consiste en des variations du stimulus dues aux fluctuations physiques (Gordon, 1989). Par exemple dans certaines situations il est demandé à l'observateur de discriminer un objet parmi d'autres stimuli, le bruit est tout ce qui est présenté hormis le signal. Ici " le bruit est le bruit de fond dans le sens de la théorie de l'information, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes non pertinents qui demeurent en l'absence de ce signal " (Bagot, 1999).

Afin que la perception d'un stimulus soit possible, ce dernier doit induire une activité neuronale supérieure à celle provoquée par l'activité aléatoire du système. Ainsi, dans les études psychophysiques, le seuil est généralement défini en fonction du nombre de réponses proposées au sujet. Par exemple, si le sujet doit choisir entre 2 réponses, le seuil est la valeur du stimulus associée à 75% de bonnes réponses : c'est la valeur moyenne entre le niveau de chance (50%) et la valeur maximale (100%) (Gordon, 1989). Le seuil est comme la force du signal, contrôlé par une dimension donnée du stimulus, nécessaire à un observateur pour atteindre un niveau donné des performances dans une tâche donnée (Farrel & Pelli, 1998).

Dans les expériences psychophysiques si l'on répète une mesure de seuil chez un même observateur en utilisant les mêmes conditions, les valeurs observées ne seront pas toujours identiques. De ce fait, le seuil opérationnel est défini à partir d'une fonction psychométrique (cf. figure 28).

### 2.3. Fonction psychométrique

Une **fonction psychométrique** est une fonction qui relie les différentes valeurs de l'intensité du stimulus à leur pourcentage de bonnes réponses. Cette fonction a une variable dépendante correspondant généralement aux performances de bonnes réponses effectuées par l'observateur. La variable indépendante est une succession de valeurs qui concerne une caractéristique donnée du stimulus (e.g., taille, contraste, couleur). L'analyse de la fonction psychométrique qui permet de déterminer la valeur précise du seuil nécessite l'ajustement de la fonction au moyen de fonctions d'ajustement comme par exemple la fonction Weibull (cf. équation 10 dans l'expérience 1).

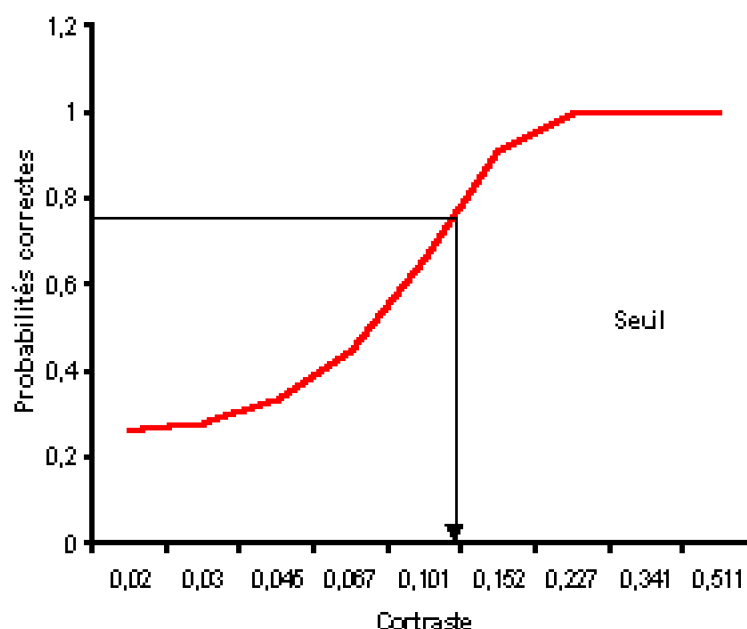


Figure 28. Représentation d'un seuil chez un sujet humain. Plus l'intensité du stimulus augmente plus la probabilité de le percevoir est élevée.

Les probabilités de bonnes réponses constituent un continuum, elles augmentent en fonction de l'intensité du signal. Cette ressemblance entre les données psychophysiques réelles et la probabilité de distribution théorique était la base de la théorie du seuil. Fechner et autres chercheurs attribuent la forme sigmoïde de la figure 28 aux facteurs chances non contrôlés.

### 3. Méthode de stimulus constant

---

Le nom de **stimulus constant** n'est pas dû à la constance du stimulus mais plutôt à la



---

constance de l'anticipation du sujet ou à la constance du nombre d'apparitions du stimulus de chaque catégorie. La probabilité d'apparition d'un stimulus est indépendante du prochain stimulus et elle est constante. Ainsi, l'observateur n'a aucun indice concernant le stimulus suivant.

Dans cette méthode, l'intensité du stimulus varie d'un essai à l'autre de façon aléatoire. Un grand nombre d'essais est utilisé à chaque niveau d'intensité et une fonction psychométrique est construite à partir des données.

#### 4. Méthode de choix forcé

---

La méthode utilisée dans notre expérience est une méthode de choix forcé à  $N$  alternatives. L'observateur doit choisir une réponse parmi un nombre de réponses déterminé par l'expérimentateur en fonction des objectifs de l'étude.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'établir la fonction psychométrique, et donc d'estimer la valeur du seuil qui correspond à une probabilité de détection d'un pourcentage donné. Si l'observateur doit choisir entre deux réponses, alors le seuil correspond à l'intensité du stimulus qui permet à l'observateur de réaliser un niveau critère de bonnes réponses fixe entre 50% (facteur chance) et 100% (niveau maximal).

#### 5. Théorie de la détection du signal

---

La théorie de la détection du signal propose d'évaluer la stratégie mise en œuvre par l'observateur. Certaines des expériences psychophysiques nécessitent l'évaluation de la sensibilité de l'observateur au signal. Il y a deux types d'observateurs dans une tâche de détection. Un type d'observateur très sensible, dès qu'il a le moindre doute il répond que le signal est présent, il s'agit d'un observateur libéral. Un deuxième type, plus réservé et ne répond présent que s'il est vraiment sûr que le signal est présent, il s'agit d'un observateur prudent. A signaler qu'entre ces deux types extrêmes il y a des types d'observateurs intermédiaires. L'atout de la théorie de la détection du signal est qu'elle propose une méthode pour mesurer la sensibilité des observateurs indépendamment de leur tendance à répondre de façon libérale ou prudente.

##### 5.1. Mesure de sensibilité ( $d'$ )

Dans une expérience de détection d'un signal, l'observateur doit dire si le signal est présent ou absent. Cette situation engendre quatre types de réponses possibles:

- **détection correcte** (DC), l'observateur répond qu'il a détecté un signal qui était présent.
- **rejet correcte** (RC), l'observateur dit qu'il n'a pas détecté le signal qui était effectivement absent.
- **fausse alarme** (FA), l'observateur répond qu'il a détecté un signal alors que celui-ci était absent.

- **omission (O)**, l'observateur répond qu'il n'a pas détecté de signal alors que celui-ci était présent.

Ces quatre possibilités sont résumées dans le tableau 10.

**Tableau 10. Résumé des types de réponses dans une tâche de détection**

	Type d'essai	
Réponse de l'observateur	Signal présent	Signal absent
oui	Détection correcte (DC)	Fausse Alarme (FA)
Non	Omission (O)	Rejet correct (RC)

La mesure de la sensibilité est définie en terme de  $z$  et est calculée par la fonction suivante :

$$d' = z(P(DC)) - z(P(FA))$$

où  $P$  est la probabilité, le  $z$  est la conversion des  $P(DC)$  ou  $P(FA)$  en taux d'unités d'écart-type sur une gaussienne standard qui a une moyenne zéro et une variance  $\sigma$ . Ces valeurs sont données dans un tableau de distribution normale. Par exemple, si  $P(DC) = 0.80$  et  $FA = 0.40$ , alors  $z(P(DC)) = 0.842$ ,  $z(P(FA)) = -0.253$ . La valeur de  $d'$  est équivalente à la différence entre ces deux valeurs de FA et DC converties en taux d'unités d'écart-type et donc égale à  $0.842 - (-0.253) = 1.095$ . Cette valeur représente la sensibilité de l'observateur au signal.

### 5.2. Courbe de la fonction de l'efficacité du récepteur

La courbe de la fonction de l'efficacité du récepteur est plus couramment appelée la courbe ROC pour l'abréviation de l'anglais *Receiver Operating Characteristics*. Une simple représentation graphique des probabilités de DC en fonction des probabilités des FA permet de visualiser les évolutions de la stratégie de l'observateur.

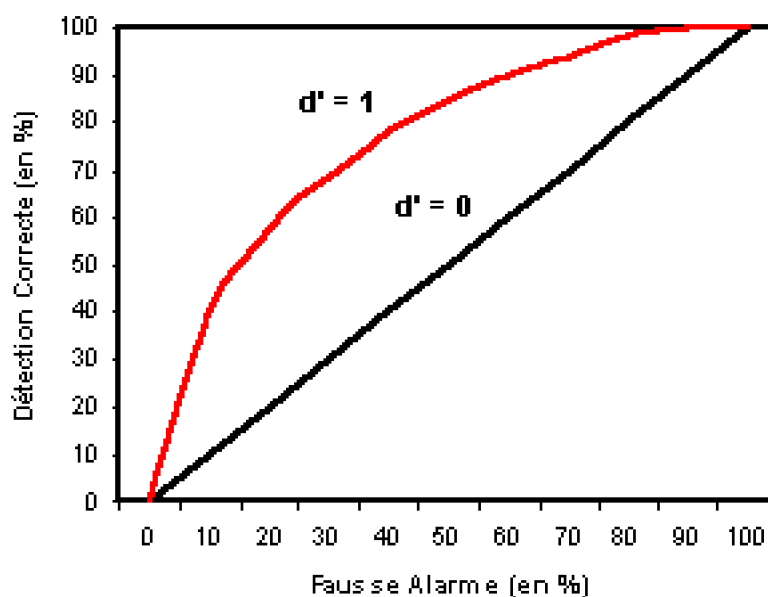


Figure 29. Représentation d'un exemple d'une courbe ROC.

Comme le montre la figure 29 (ligne noire), lorsque les valeurs tombent sur la diagonale, alors la valeur du  $d' = 0$ . Ceci signifie que l'observateur détecte le signal au hasard et que les *DC* égalent les *FA*. Comme le montre la courbe rouge de la figure 29, plus la courbe se creuse du côté gauche supérieur, plus cela signifie que la sensibilité de l'observateur est grande, ici un  $d' = 1$ .

## Chapitre 2. Facteur d'agrandissement en vision périphérique

### I. Expérience 1. Détection et identification de lettres symétriques en vision périphérique

#### 1. Introduction

Le modèle de deux facteurs distincts de mise à l'échelle des tâches visuelles telles que la détection et l'identification de phases suggérés par Levi et al. (1985) ne permet pas de rendre compte des résultats de Higgins et al. (1996). En effet, ces derniers auteurs ont trouvé qu'un *même facteur de mise à l'échelle permet d'égaliser les performances de la tâche de détection et de la tâche d'identification de lettres symétriques en miroir à travers le champ visuel*. Ils ont agrandi les tailles des stimuli par le facteur de mise à l'échelle proposé par Rovamo et Virsu (1978) dans l'équation 3.

Dans l'étude de Higgins et al. (1996), les deux stimuli (b et d) étaient présentés dans la même portion inférieure du champ visuel et la luminance du fond de l'écran était très basse (5 cd/m<sup>2</sup>). Ils ont étudié des tailles très proches du seuil de l'acuité en n'utilisant qu'une seule taille par excentricité. Dans chacune des sessions, un seul niveau de contraste était utilisé. Dans leur étude, un facteur attentionnel a été introduit dans l'ajustement des courbes psychométriques puisque le niveau maximal de 100% de bonnes réponses n'était pas atteint par les observateurs. Ce facteur attentionnel est égal à la différence entre le niveau maximal de bonnes réponses du sujet et un niveau de 100%.

La présente étude a quatre objectifs principaux. Le premier objectif est de généraliser l'étude de Higgins et al. (1996) en apportant des modifications pertinentes à l'expérience et aussi à l'analyse. Nous allons présenter une plus grande gamme de lettres (quatre) à différentes positions dans le champ visuel sur un fond d'écran d'une plus haute luminance. Ainsi, pour chacune des trois excentricités nous étudierons un ensemble de quatre tailles. Nous utiliserons plusieurs niveaux de contraste dans chaque session. Notre objectif est de vérifier si ces modifications permettent d'obtenir les mêmes résultats que Higgins et al. (1996).

Ces auteurs ont utilisé un appareil permettant de contrôler la position du stimulus sur la rétine (*eyetracker* en anglais). Afin de contrôler la position des lettres sur la rétine, nous avons varié aléatoirement, dans chacune des sessions, les quatre positions possibles dans le champ visuel (nasale, temporale, supérieure et inférieure). Ainsi, l'observateur n'anticipait pas l'emplacement de l'apparition du stimulus sur l'écran.

Le deuxième objectif est d'appliquer la méthode d'estimation du facteur d'échelle locale proposée par Watson (1987) afin de connaître le facteur de mise à l'échelle nécessaire pour chacune des deux tâches. Cette méthode a l'avantage d'être indépendante de toute estimation préalable de l'agrandissement rétinien ou cortical. Le troisième objectif est d'appliquer la méthode de Levi et al. (1985) pour calculer le  $E_2$  afin de comparer l'évolution des deux tâches dans la périphérie du champ visuel. Le quatrième objectif est d'expliquer la différence entre les résultats de Higgins et al. (1996) d'une part et ceux de Farrel et al. (1990), Strasburger et al., (1991) et Saarinen et al. (1989) d'autre part.

## 2. Méthodes

Les trois expériences de ce premier thème ont été réalisées à l'Institut de l'Ingénierie de la Vision de l'université de Jean Monnet (Saint-Etienne).

### 2.1. OBSERVATEURS

Les deux observateurs RY et KK ayant participé à cette expérience sont deux adultes ayant une acuité visuelle corrigée à la normale. Le deuxième observateur est protanope<sup>12</sup>

---

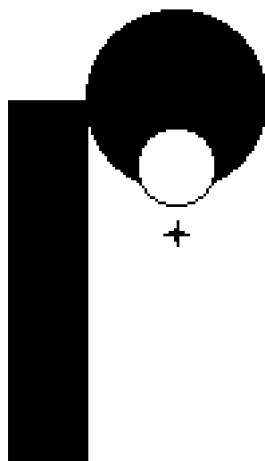
<sup>12</sup> Manque de cônes de type L sur la rétine.

## **2.2. MATÉRIEL**

Les stimuli étaient présentés sur un écran moniteur Eizo FlexScan T562-T contrôlé par un système graphique générateur de stimuli visuels, Cambridge Research System (VSG-2/3) qui fournit 12 bits de contraste de luminance. L'étalonnage de l'écran a permis le contrôle des luminances : une " Look Up Table " (LUT), c'est-à-dire une échelle linéaire de luminance, comportant un intervalle identique entre tous les niveaux qu'elle contient, a été créée. Les niveaux de la LUT ont été choisis parmi les 256 niveaux RVB (rouge, vert, bleu) qui correspondent aux trois canaux de couleurs de l'écran. La résolution de l'écran était de 800 par 600 pixels et 25 par 33 cm. Le rythme de rafraîchissement de l'écran était de 100 HZ. La luminance de fond, mesurée par un photomètre portatif (Minolta, CS-100), était de 65 cd/m<sup>2</sup>.

## **2.3. STIMULI**

La performance d'identification n'est pas équivalente pour toutes les lettres. En effet, dans la liste des lettres de Sloan, les lettres circulaires telles que 'O' et 'C' sont plus difficiles à identifier que les lettres angulaires telles que 'Z' et 'L' (Bennett, 1965; Elliott, Whitaker, & Bonette, 1990; Ferris, Freidlin, Kassoff, Green, & Milton, 1993; Sloan, Rowland, & Altman, 1994; Strong & Woo, 1985). Afin d'avoir des lettres de même difficulté, nous avons choisi des lettres ayant la même amplitude spectrale et une forme ne différant que par la phase.



*Figure 30. Dessin d'une lettre utilisée dans cette expérience. La longueur du diamètre du petit cercle constitue le facteur ( $f$ ) permettant la mise à l'échelle de la lettre. La longueur de la barre est de  $6f$ , la largeur de la barre est de  $1.2f$  et le rayon du grand cercle est de  $2f$ . La croix au centre du petit cercle ne fait pas partie de la lettre et représente le centre à partir duquel la lettre était présentée dans le champ visuel de l'observateur.*

Ainsi, quatre lettres flexibles permettant une mise à l'échelle sont dessinées à l'aide d'une barre plus un cercle attaché à l'une des quatre extrémités pour représenter des

éléments de l'ensemble des quatre lettres (b, d, p, q). Un exemple de lettre **p** est représenté dans la figure 30. La taille de la lettre est définie par rapport à la hauteur de sa barre.

Les lettres étaient présentées à différentes excentricités dans les quatre champs visuels : nasal, temporal, supérieur et inférieur. Les lettres présentées à une excentricité de 2° ont les tailles : 12.4, 20.6 41.3 94.4 ou 83 min. d'arc (min.). Les lettres présentées à une excentricité de 4° ont les tailles : 16.5, 33, 57.8 et 123.7 min. Les lettres présentées à une excentricité de 8° mesuraient : 28.8, 57.6, 100.8 et 172.8 min. Les trois excentricités : 2, 4 et 8° étaient obtenues en fonction d'une distance de présentation de 200 , 100 et 57 cm, respectivement.

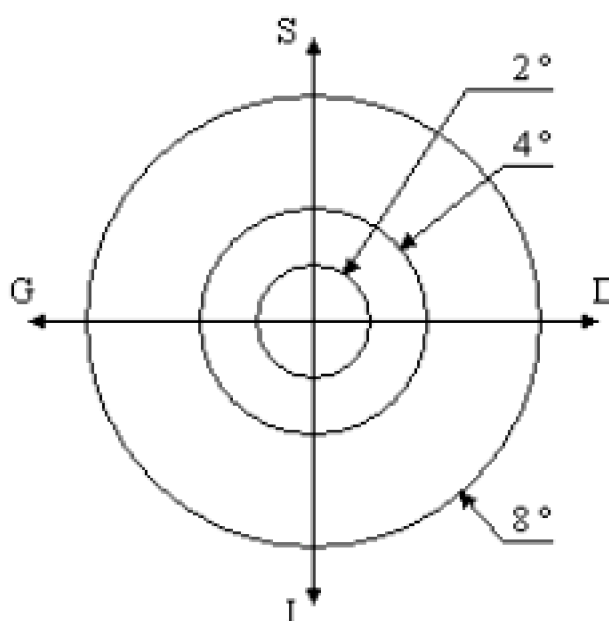


Figure 31. Représentation des 4 positions dans le champ visuel: supérieur (S), inférieur (I), gauche (G) et droit (D) et des 3 excentricités: 2, 4 et 8°.

Les stimuli apparaissaient comme des contours sombres sur fond blanc. Le contraste était défini comme le rapport de luminance d'une magnitude décroissante sur la luminance du fond de l'écran:

$$\frac{|L_f - L_s|}{L_f} \quad (9)$$

où  $L_f$  est la luminance du fond,  $L_s$  est la luminance du stimulus. Il s'agit d'un contraste Webérien mettant en évidence la différence relative entre la luminance du stimulus et celle du fond de l'écran.

### **2.4. PROCÉDURE**

Les observateurs, placés dans une chambre sombre, fixaient l'écran de façon binoculaire et s'adaptèrent à la lumière de l'écran pendant deux minutes avant chaque session. Une méthode de choix forcé à quatre alternatives spatiales (CF-4A) et à stimuli constants ont été utilisés afin de mesurer la détection et l'identification de 4 lettres dans 3 excentricités et 4 positions dans le champ visuel.

La taille et l'excentricité étaient fixes dans chacune des sessions. Pour chacune des douze conditions étudiées (3 excentricités fois 4 tailles) six niveaux de contraste ont été sélectionnés à partir d'expériences pilotes. Les six niveaux de contraste étaient choisis pour produire une progression de performances de détection et d'identification allant d'un niveau de chance (25%, une possibilité sur quatre pour chacune des tâches) à un niveau de maximal de bonnes réponses (100 %).

Chaque essai était signalé par un son de 200 millisecondes (ms) qui se déclenchait au même moment que l'apparition d'un point de fixation de 2 fois 2 pixels qui durait 500 msec (cf. figure 32). Immédiatement après apparaissait un stimulus qui durait 50 msec afin de se prémunir contre la saccade oculaire qui fovéalisait le stimulus.

L'observateur avait pour consigne de donner deux réponses : la première concernait la détection du stimulus c'est-à-dire indiquer dans quelle partie du champ visuel il a aperçu la lettre (haute, basse, gauche ou droite), la deuxième réponse consistait à identifier la lettre (b, d, p ou q).

Chacune des sessions durait 12 minutes environ et consistait en 192 essais : 6 contrastes, 4 positions et 4 lettres, chaque stimulus était présenté deux fois. L'identité de la lettre, sa position dans le champ visuel et son niveau de contraste étaient présentés aléatoirement. Chacune des conditions (taille et excentricité) était répétée 5 fois. Ainsi, chaque observateur a réalisé 60 sessions (cinq sessions fois quatre tailles fois trois excentricités) produisant un total de 11520 essais dans une période qui s'est étendue sur 7 à 12 semaines. Les points des fonctions psychométriques représentent un ensemble de 160 essais.

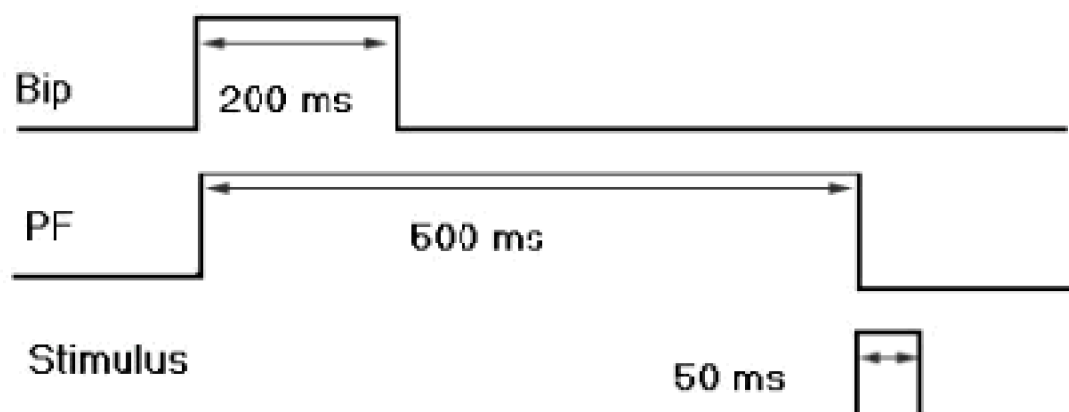


Figure 32. Représentation des événements constituant un essai. Un bip sonore de 200 ms qui se déclenche au même moment où apparaît un point de fixation (PF) de 500 ms suivi

de l'apparition du stimulus pendant 50 ms

### 3. Résultats

#### 3.1. ANALYSE

Afin de calculer la valeur seuil la plus proche des données, une courbe était ajustée aux valeurs des performances afin de les décrire selon une technique de maximum de vraisemblance proposée par Watson (1979), en utilisant la fonction de Weibull qui a la forme suivante:

$$P(c) = 1 - (1 - \gamma)e^{-(c/\alpha)^\beta} \quad (10)$$

où  $P(c)$  est la probabilité de bonnes réponses en fonction du contraste  $c$ ,  $\gamma$  est le facteur chance de 25%,  $\alpha$  est le seuil de contraste c'est-à-dire le niveau de contraste où les performances atteignent 72% de bonnes réponses,  $\beta$  détermine la pente de la fonction psychométrique. L'analyse des bonnes réponses de la tâche d'identification est **conditionnelle**, c'est-à-dire qu'elle ne porte que sur les lettres correctement détectées.

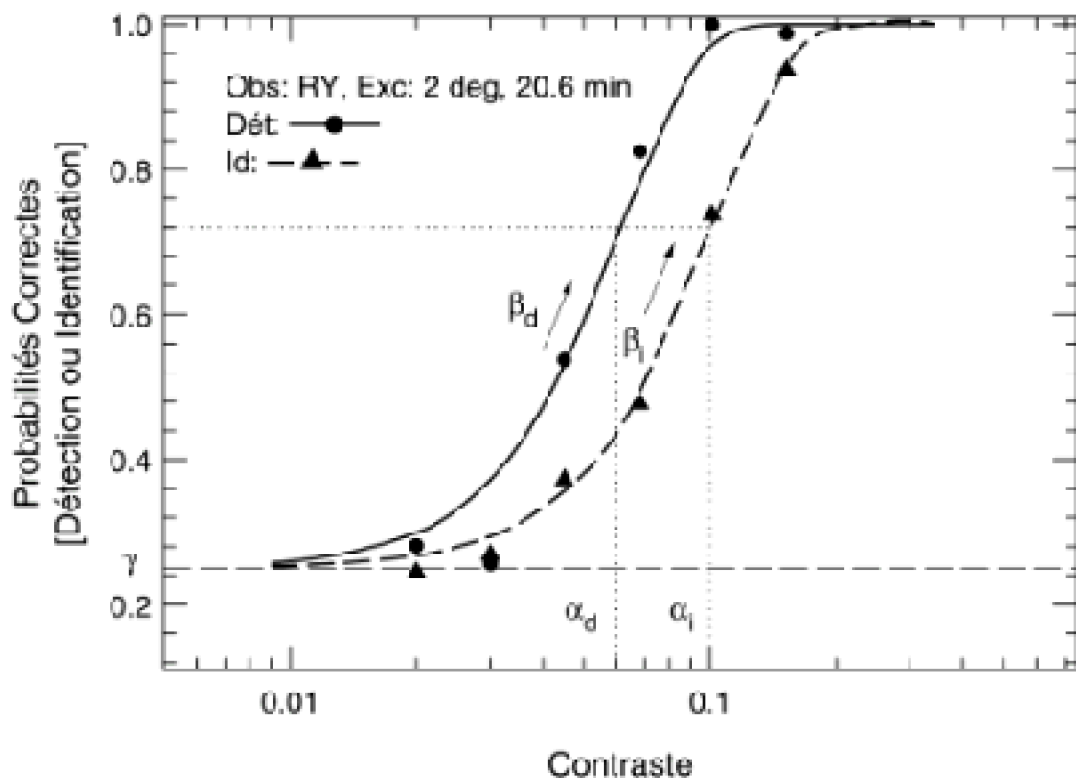


Figure 33. Fonction psychométrique pour l'observateur RY. Probabilité de bonnes réponses en fonction du contraste pour la détection (cercles et ligne solide) et l'identification (triangles et ligne discontinue). Les lignes pointillées indiquent le niveau critère du contraste utilisé pour définir le seuil de la détection  $\alpha_d$  et de l'identification  $\alpha_i$ . La



*penne des deux fonctions psychométriques est contrôlée par le paramètre de la pente des performances de détection  $\beta_d$  et d'identification  $\beta_i$ . La ligne discontinue représente le niveau chance (0.25).*

L'ajustement était réalisé par un programme en langage C en utilisant une fonction de minimisation (Gegenfurtner, 1992) qui nous a permis de contraindre les paramètres à travers les tailles et/ou les excentricités afin de tester une série d'hypothèses. Ces hypothèses concernaient les variations des paramètres ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) en fonction des tailles et des excentricités.

La figure 33 montre un ensemble de données représentatives pour les deux tâches de détection (cercles) et d'identification (triangles) pour l'observateur RY. La fonction Weibull ajustée aux données est représentée par une ligne continue (détection) et une ligne discontinue (identification). Dans cette figure, les paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$  de l'équation Weibull sont indiqués sur la fonction psychométriques.

### 3.1.1. Paramètre $\alpha$

Il s'agit du niveau de contraste permettant à l'observateur de réaliser un niveau critère de 72% de bonnes réponses, c'est le **seuil de contraste**. Comme le montre la figure 33, pour réaliser ce niveau critère de bonnes réponses, l'observateur a besoin d'un niveau de contraste différent pour chacune des deux tâches. A savoir qu'il a besoin d'un contraste de 0.06 pour la tâche de détection ( $\alpha_d$ ) et d'un contraste de 0.1 pour la tâche d'identification ( $\alpha_i$ ).

### 3.1.2. Paramètre $\beta$

Les paramètres  $\beta_d$  et  $\beta_i$  contrôlent le rythme de l'évolution des performances en fonction des niveaux de contraste pour les deux tâches de détection et d'identification, respectivement. Un  $\beta$  élevé signifie une évolution rapide des performances allant d'un niveau de chance à un niveau maximal de bonnes réponses. A l'inverse, un  $\beta$  bas signifie une évolution lente entre le niveau de chance et le niveau maximal de bonnes réponses.

### 3.1.3. Facteur chance ( $\gamma$ )

La ligne discontinue horizontale située en bas de la fonction psychométrique représente le niveau de chance. L'observateur a une chance sur quatre (25%) d'indiquer la bonne position de la lettre (haute, basse, droite ou gauche) et une chance sur quatre d'identifier la bonne lettre (b, d, p ou q).

Nous avons effectué trois types d'analyse. **Une analyse indépendante** qui consistait à ajuster les fonctions psychométriques individuellement pour chacune des 12 conditions et chacune des deux tâches. Dans cette analyse, les deux paramètres, le seuil et la pente, variaient pour chacune des fonctions psychométriques. Une **analyse linéaire** qui consistait à ajuster les fonctions psychométriques représentant la variation des seuils de contraste en fonction des tailles. L'ajustement était contraint de suivre une loi linéaire pour chacune des excentricités. Une **analyse quadratique** qui consistait à ajuster les seuils de contraste selon une loi quadratique en fonction des tailles.

Dans chacune de ces analyses nous avons débuté par une analyse globale des 12 conditions et des deux tâches. Ensuite, nous avons modélisé les valeurs du seuil de contraste qui en résultaient. Les facteurs d'échelle étaient calculés à partir de la translation des courbes représentant les seuils de contraste en fonction des tailles. Les facteurs d'échelle ont permis de calculer les valeurs de  $E_2$  qui représentent l'excentricité à laquelle les performances baissent de moitié. Cet indice permet de comparer l'évolution des deux tâches à travers le champ visuel.

### **3.2. ANALYSE INDÉPENDANTE DES TAILLES**

Dans cette analyse, chacune des vingt-quatre fonctions psychométriques pour chacun des deux sujets était ajustée en fonction de 48 paramètres : 24  $\alpha$  et 24  $\beta$ .

La figure 34 montre les vingt-quatre fonctions psychométriques de chacun des deux observateurs RY et KK. Les probabilités de bonnes réponses de détection (cercles) et d'identification (triangles) des lettres sont représentées en fonction du contraste pour les trois excentricités (disposées en lignes) et les quatre tailles (disposées en colonnes).

Dans la figure 34, il est clair que les courbes d'identification ont une forme similaire à celles de détection mais sur une valeur de contraste légèrement plus élevée. La différence entre les fonctions psychométriques des deux tâches diminue progressivement en fonction des tailles, (cf. la première ligne de la figure 34 observateurs RY et KK). Les fonctions psychométriques pour les deux tâches se rapprochent en fonction des excentricités (cf. la première colonne de la figure 34).

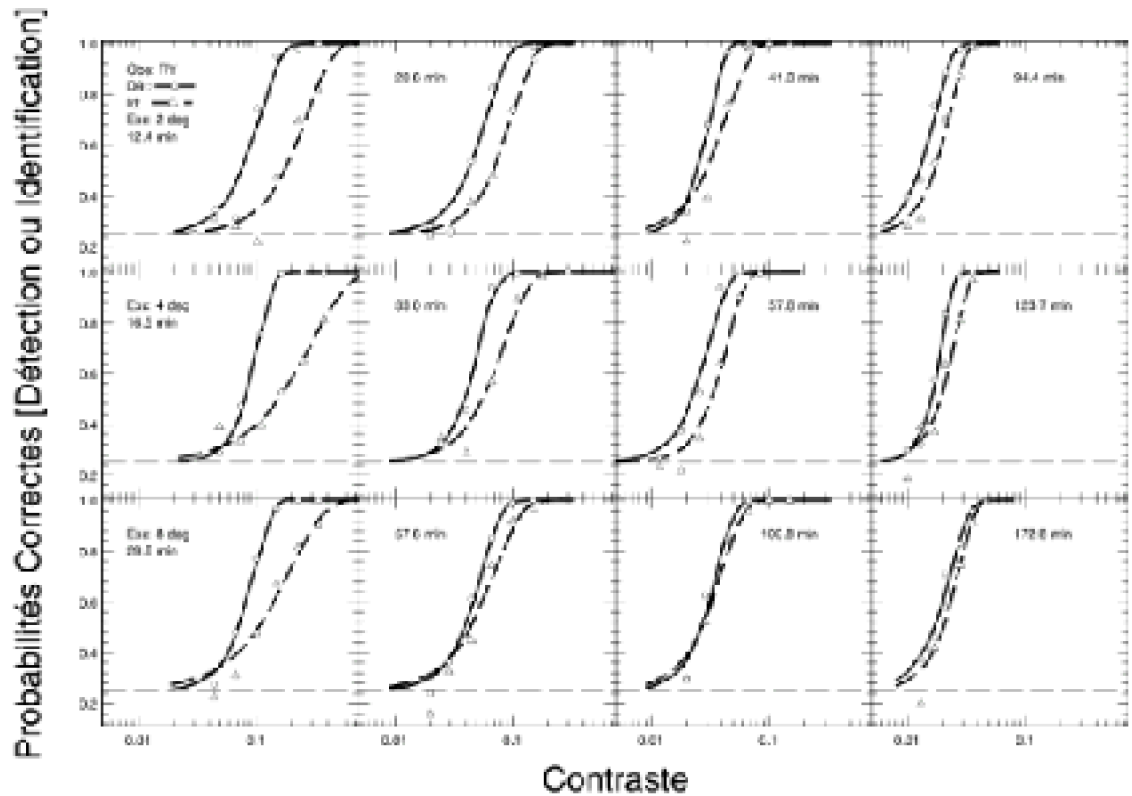
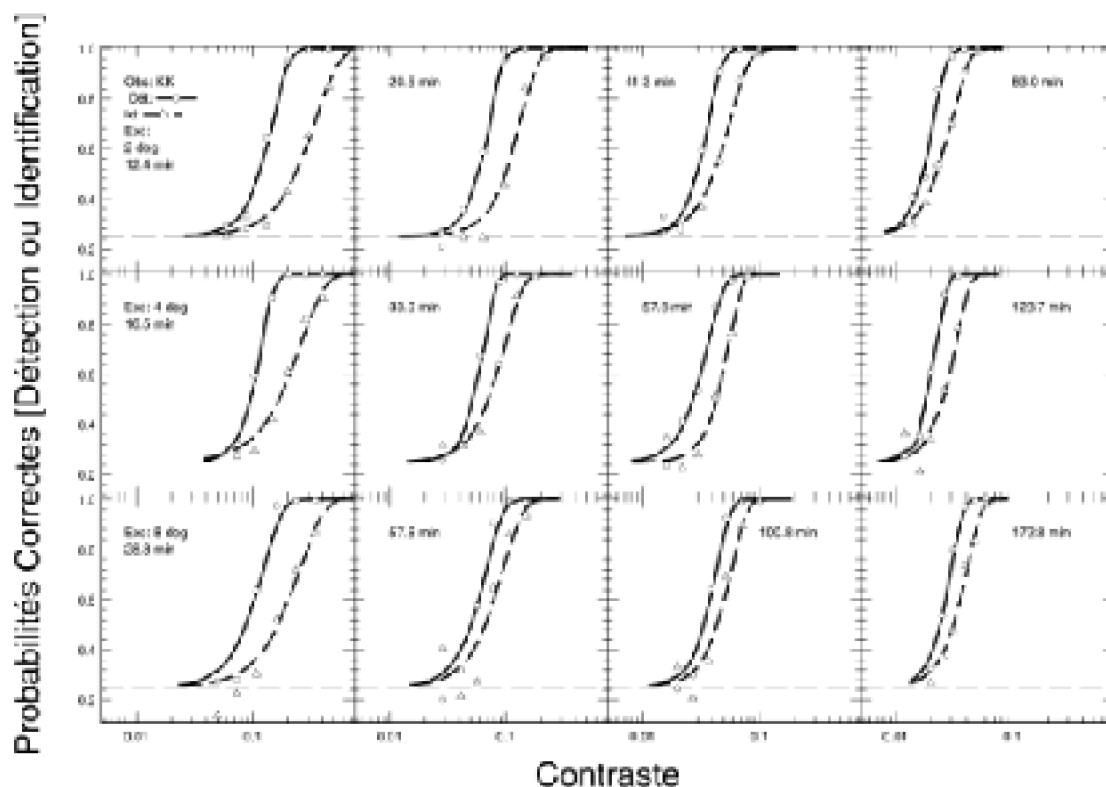


Figure 34. Représentation des 24 fonctions psychométriques. Les tailles changent en fonction des colonnes et les excentricités changent en fonction des lignes. La tâche de détection est représentée par des cercles et une ligne continue et la tâche d'identification par des triangles et une ligne discontinue



### 3.2.1. Seuils de contraste en fonction des excentricités

Chacune des valeurs du seuil était calculée individuellement et indépendamment pour chacune des quatre tailles et des trois excentricités. Afin de résumer les données ci-dessus, les variations des valeurs des seuils de contraste ( $\alpha$ ) (le niveau de contraste où les performances atteignent 72% de bonnes réponses) sont représentées dans la figure 35 et sont modélisées par une fonction de la forme suivante:

$$\log(\alpha) = a_e + b_e * \log(h) ; (11)$$

où  $a$  et  $b$  sont des constantes différentes pour chacune des excentricités  $e$ , et  $h$  est la taille de la lettre définie selon sa hauteur.

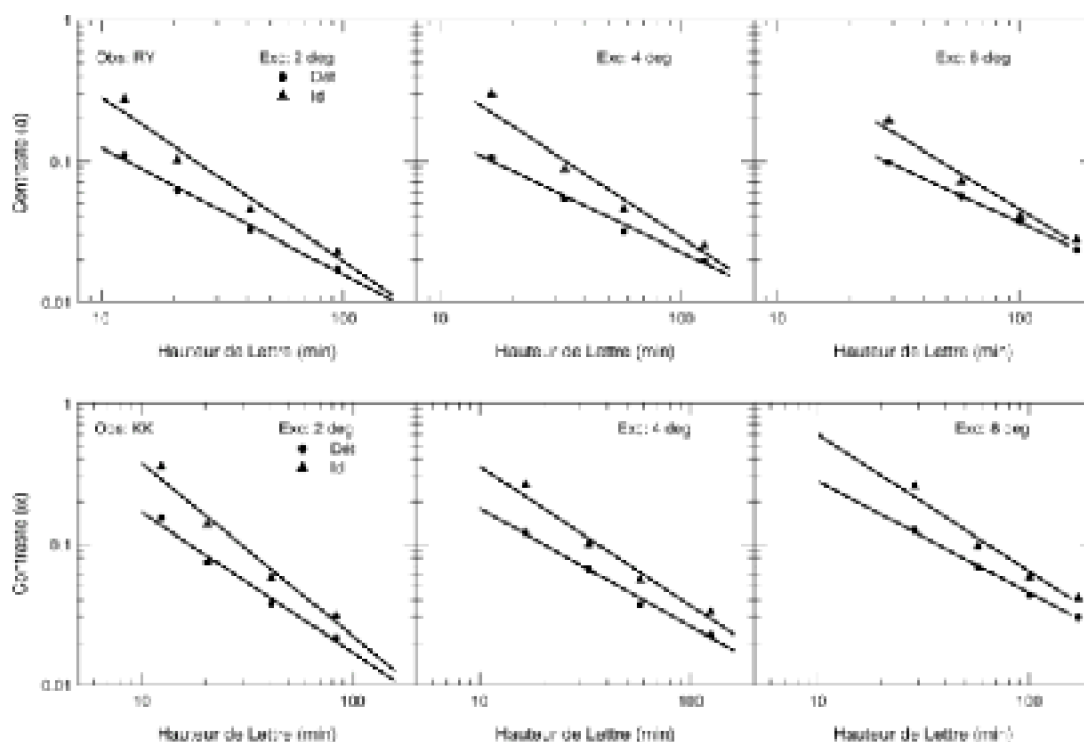


Figure 35. Représentation des seuils de contraste en fonction des tailles et des excentricités pour l'observateur RY en haut et l'observateur KK en bas. Les triangles représentent les seuils de contraste de la tâche d'identification et les cercles représentent les seuils de contraste de la tâche de détection. Les points sont modélisés par une fonction linéaire

Chaque point dans cette analyse est calculé sur un ensemble de 960 essais représentant une fonction psychométrique. Les résultats de l'analyse linéaire représentés dans la figure 35 montrent une baisse systématique des seuils de contraste en fonction des tailles.

On observe aussi une translation horizontale systématique des valeurs des seuils de contraste sur l'axe des tailles à travers les excentricités. Cette translation horizontale indique la nécessité d'une augmentation des tailles en fonction des excentricités pour chacune des deux tâches afin de les égaliser. Cette translation constitue le facteur d'échelle locale ( $\epsilon$ ) selon la méthode de Watson (1987).

### 3.2.2. Evolution des pentes selon les excentricités

Si la différence entre les excentricités est une simple différence d'échelle, alors les fonctions psychométriques ajustées par un facteur d'échelle doivent avoir des seuils de contraste et des rythmes d'évolution identiques.

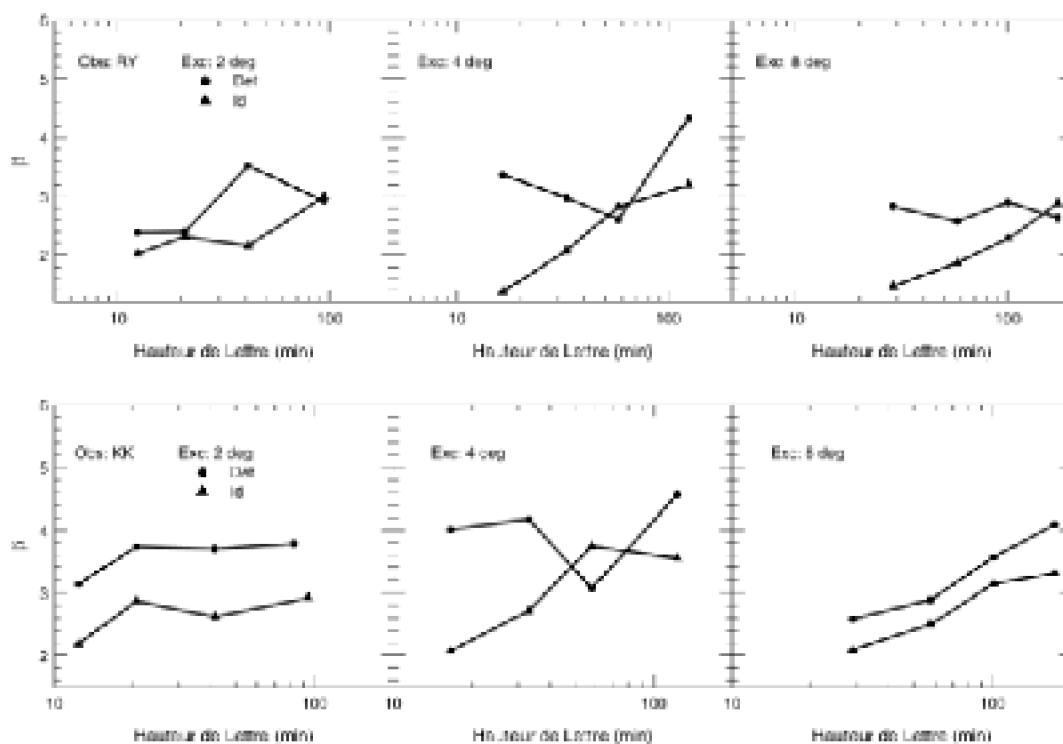


Figure 36. Les valeurs du paramètre  $\beta$  du sujet RY en haut et KK en bas. Les valeurs  $\beta$  de la tâche d'identification sont légèrement plus élevées que celles de la tâche de détection. Les points ne sont pas ajustés mais reliés par des segments de lignes.

Pour un modèle plus stricte de mise à l'échelle spatiale de la vision périphérique, les valeurs de  $\beta$  doivent changer de façon systématique selon les tailles et les excentricités. Les valeurs de ce paramètre sont représentées en fonction des tailles pour chacune des deux tâches et des trois excentricités dans la figure 36.

Les valeurs  $\beta$  de la tâche de détection sont légèrement plus élevées que celles de la tâche d'identification. Ceci indique que l'évolution des performances de détection en

fonction des niveaux de contraste est plus rapide comparée à la tâche d'identification qui évolue plus lentement. On remarque aussi une légère augmentation des valeurs de  $\beta$  en fonction des tailles. Ceci indique que plus grandes sont les tailles, plus rapide est l'évolution des performances entre un niveau chance et un niveau maximal de bonnes réponses.

L'examen de l'évolution des valeurs de  $\beta$  montre un changement non systématique. Il est à noter une inversion des valeurs de  $\beta$  des deux tâches au niveau de la taille de 57.8 min. d'arc qui était présentée à une excentricité de  $4^\circ$  pour les deux observateurs. Ceci rend la prédiction et la modélisation de l'évolution des tâches en fonction de ce paramètre assez difficile. Dans une simulation de calcul de la pente et du seuil, l'analyse a montré que le calcul du seuil est 6 fois plus précis que celui de la pente (King-Smith & Rose, 1997). En effet, si  $\alpha$  peut être déterminé correctement sur 10 essais, alors il faut 60 essais pour déterminer une valeur précise de  $\beta$ . Ainsi, le paramètre  $\beta$  sera libre de varier, c'est-à-dire calculé indépendamment pour chacune des tâches, des tailles et des excentricités.

### **3.3. ANALYSE LINÉAIRE DES PERFORMANCES**

Afin de vérifier si le seuil de contraste peut être prédit par une seule fonction pour toutes les excentricités, nous avons contraint les paramètres  $a$  et  $b$  à être identiques à chaque excentricité. Nous avons introduit le paramètre  $\varepsilon$  pour tenir compte du facteur d'échelle. Le modèle est donc calculé selon la formule suivante :

$$\log(\alpha) = a + b * \log(h / \varepsilon_e); (12)$$

où  $\varepsilon$  est le facteur d'échelle à l'excentricité ( $e$ ),  $a$  et  $b$  sont les mêmes pour les trois excentricités.

Ainsi, l'analyse était effectuée selon 32 paramètres (2 constantes  $a$  et  $b$  fois 2 tâches + 4 facteurs d'échelle + 24  $\beta$ ).

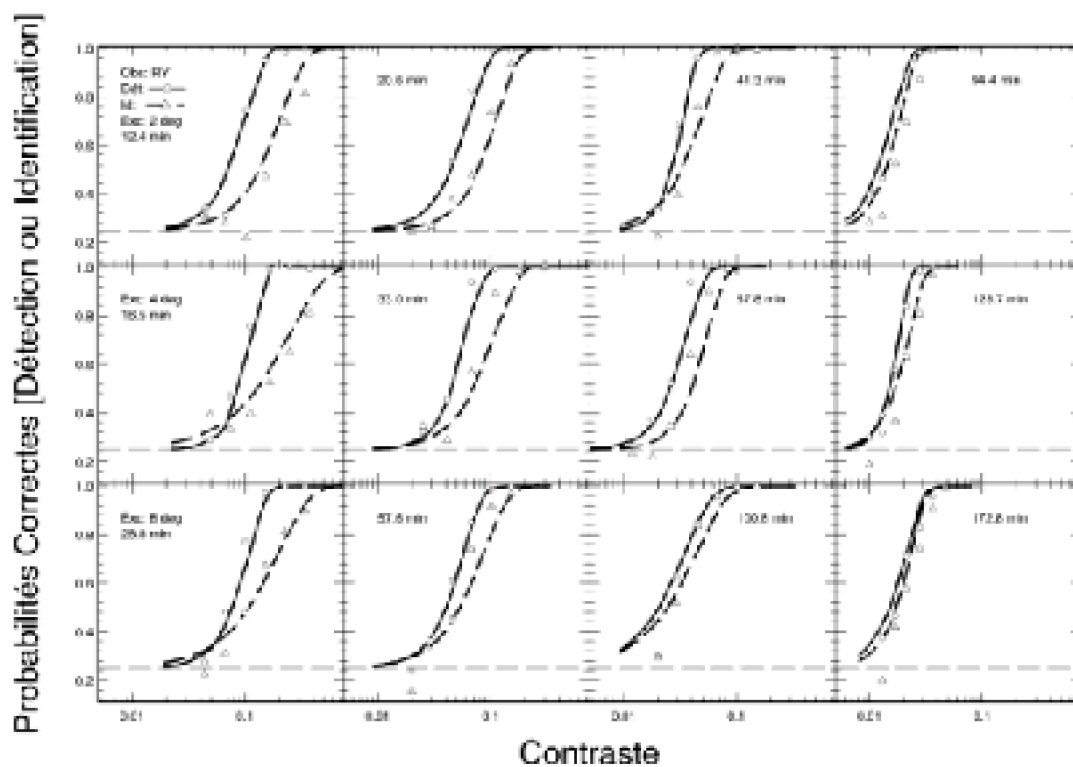
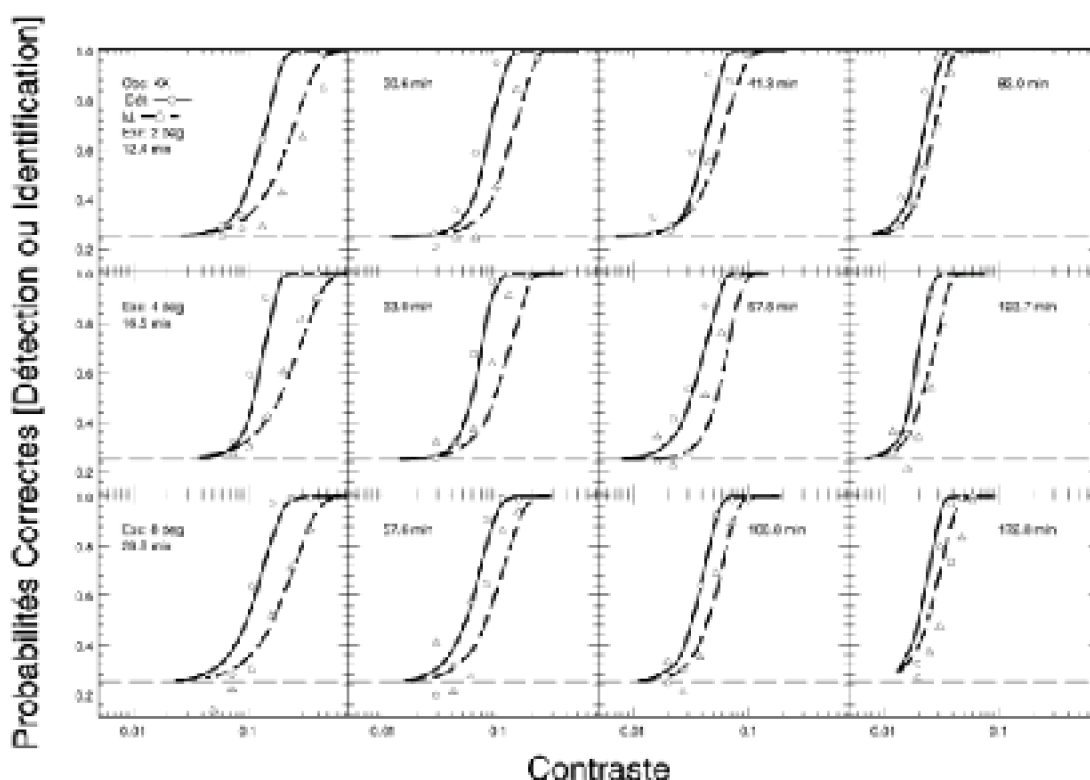


Figure 37. Représentation des pourcentages de bonnes réponses de l'analyse linéaire. Les cercles représentent le pourcentage des bonnes réponses de la tâche de détection et les triangles celui de la tâche d'identification. Les courbes représentent les ajustements par la fonction de Weibull selon 32 paramètres.





### 3.3.1. Analyse des seuils selon le facteur d'échelle

Pour une représentation succincte des performances, les seuils de contraste sont représentés en fonction des tailles pour chacune des excentricités dans la figure 38. Les valeurs sont ajustées selon une formule linéaire (équation 12) ayant les mêmes facteurs  $a$  et  $b$  et ne différant que par la valeur du facteur de mise à l'échelle ( $\epsilon$ ).

Cette modélisation signifie que les performances peuvent être égalisées pour la détection et l'identification d'un stimulus si un facteur d'échelle est appliqué pour agrandir la taille en fonction de l'excentricité.

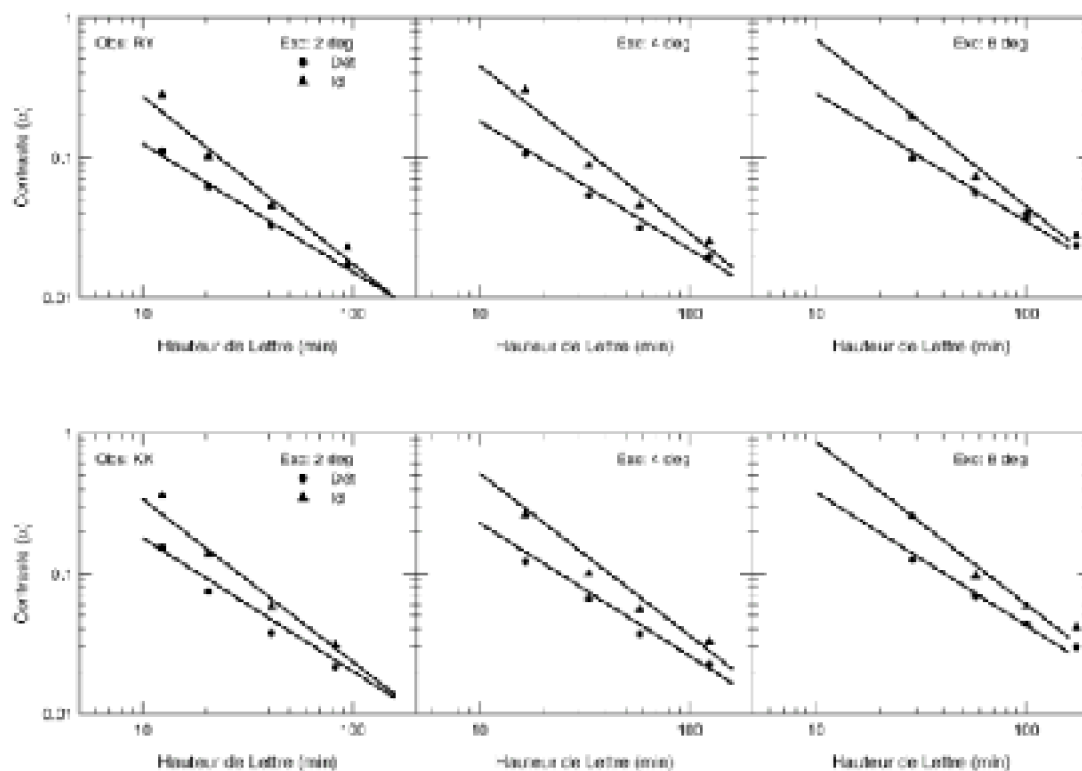


Figure 38. Représentation des seuils de contraste en fonction des tailles pour chacune des excentricités. Les valeurs des seuils (les points) sont ajustées selon une analyse linéaire (les lignes droites). La différence entre les trois fonctions est le facteur de l'échelle locale ( $\epsilon$ ).

Dans la figure 38, les seuils de contrastes représentés par des symboles (détection : cercles et identification : triangles) changent systématiquement en fonction des tailles et des excentricités. Ces valeurs sont ajustées par une fonction linéaire. Ainsi, nous pouvons proposer un modèle linéaire de l'évolution des seuils en fonction des tailles et des excentricités.

A signaler que le seuil de contraste de la tâche d'identification de la taille de 12.4 min. d'arc n'est pas bien ajusté par la fonction linéaire pour les deux observateurs. Ceci est lié à l'ajustement de la courbe des bonnes réponses, les triangles sont éloignés de la ligne discontinue de l'ajustement (cf. figure 37 : taille de 12.4 min., tâche d'identification pour les deux observateurs RY et KK). A noter, aussi, que les seuils de contraste suivent une progression de telle sorte que les valeurs des seuils des deux tailles intermédiaires (i.e.,

tailles 20.6 et 41.3 min. à une excentricité de 2° et tailles 33 et 57.8 min. à une excentricité de 4°, les tailles 57.6 et 100.8 min. à une excentricité de 8°) pour chacun des deux observateurs sont en-dessous de la droite de l'ajustement linéaire. Ces erreurs résiduelles systématiques indiquent la possibilité d'une analyse **quadratique** qui prendrait en considération l'ajustement d'un troisième paramètre en plus des deux paramètres  $a$  et  $b$  de la fonction linéaire.

### 3.3.2. Facteur d'échelle

Les facteurs de mise à l'échelle des deux tâches en fonction des excentricités sont calculés par rapport à la translation horizontale des seuils de contraste. Le facteur d'échelle nécessaire pour égaliser chacune des deux tâches augmente de façon linéaire en fonction des trois excentricités (cf. figure 39).

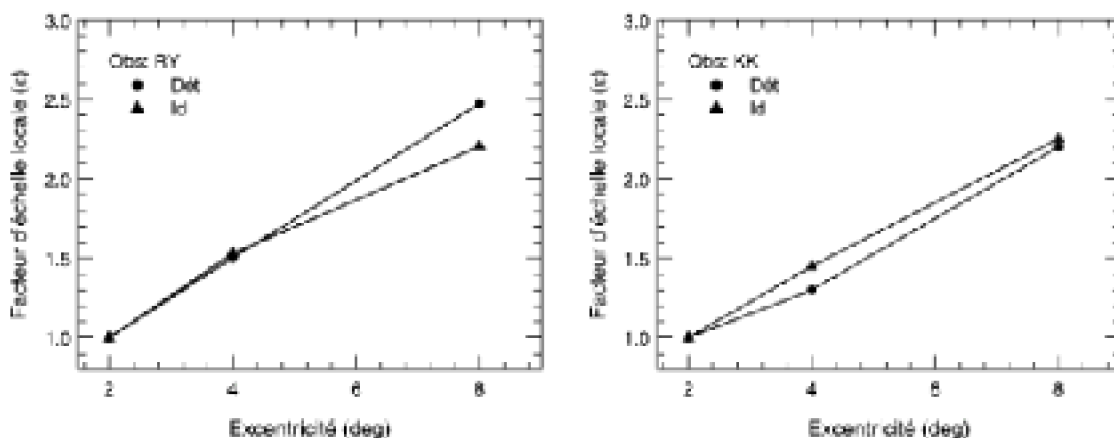
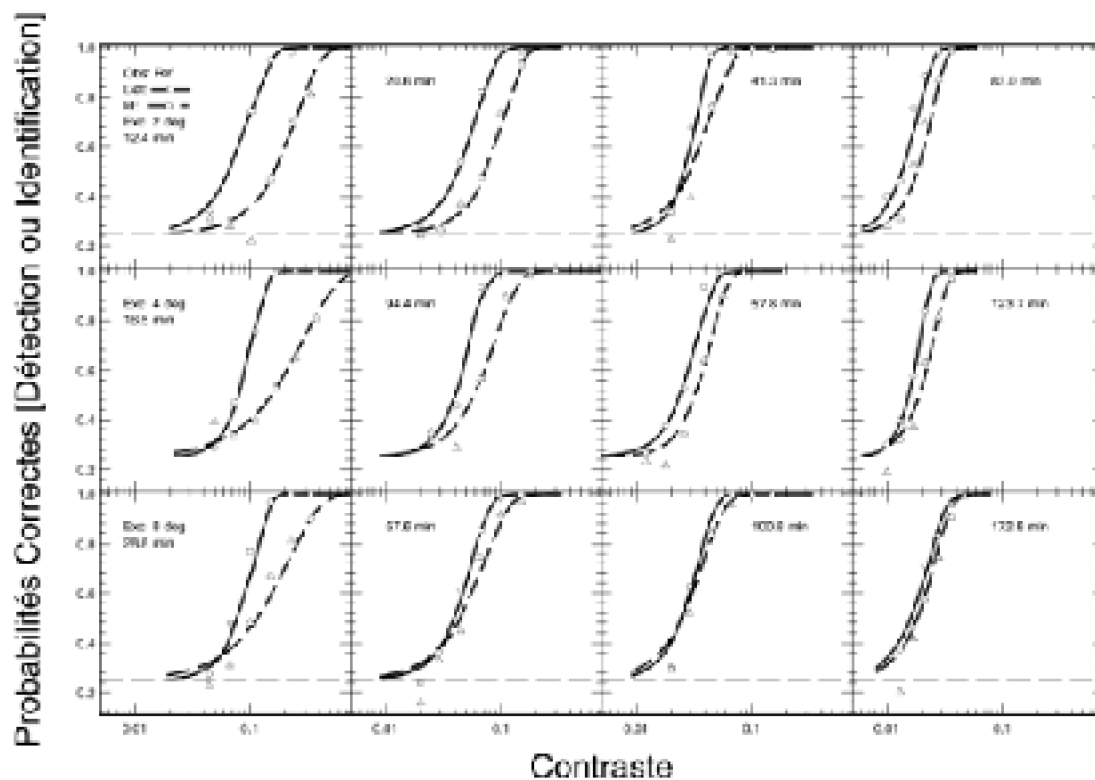


Figure 39. Représentation des facteurs d'échelle en degré en fonction des excentricités pour les deux observateurs. Pour les deux tâches, les valeurs augmentent en fonction des excentricités.

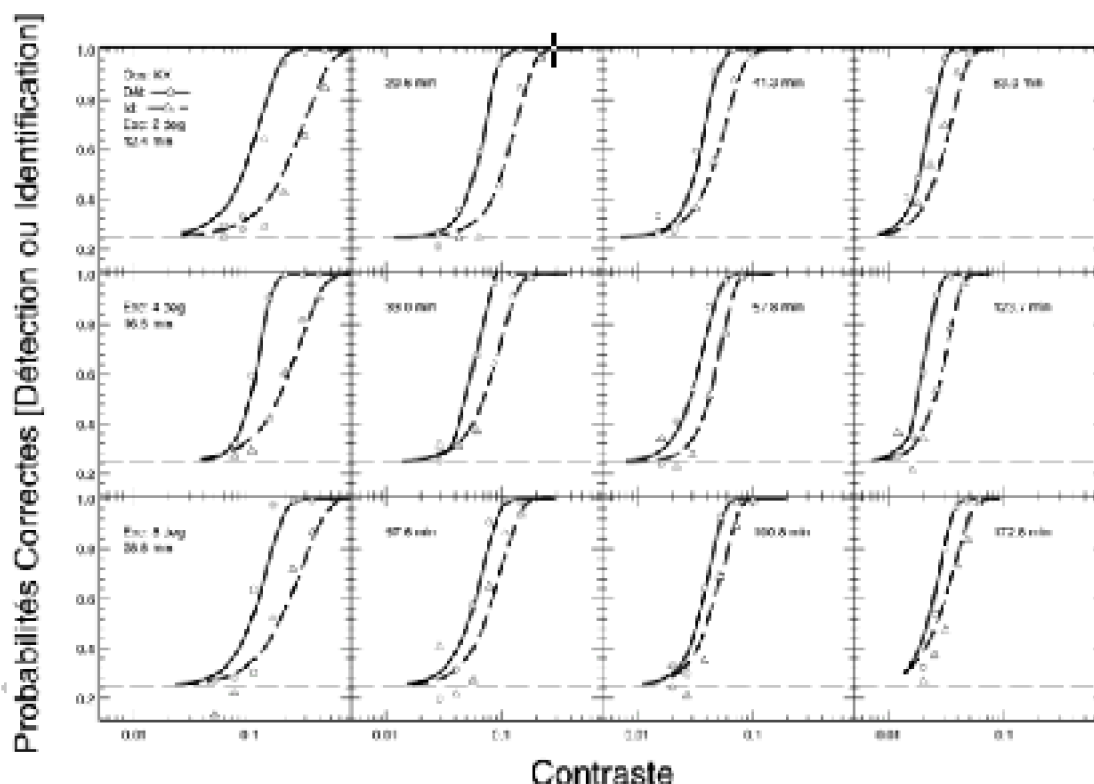
Cependant, l'évolution n'est pas supérieure pour la tâche d'identification, elle est plutôt identique pour les deux tâches, voire légèrement supérieure pour la tâche de détection (observateur RY). Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par Higgins et al. (1996) et contredisent ceux obtenus par Strasburger et al. (1991), Farrel et al. (1990) et Saarinen et al. (1989).

### 3.4. ANALYSE QUADRATIQUE SELON LES EXCENTRICITÉS

Un modèle quadratique ayant 42 paramètres (3 constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$  fois 3 excentricités fois 2 tâches + 24 bêta) sera-t-il suffisant pour prédire la progression des deux tâches dans la périphérie du champ visuel ?



La figure 40 montre l'ajustement des performances des observateurs selon l'équation de Weibull ayant un paramètre  $\alpha$  provenant d'une analyse quadratique. Cette analyse permet la modélisation des performances des observateurs pour les quatre tailles et les trois excentricités.



### 3.4.1. Analyse quadratique des seuils en fonction des excentricités

Afin de résumer les résultats de la figure 40, les seuils de contraste ( $\alpha$ ) de l'analyse indépendante sont représentés par des points et ajustés selon une fonction quadratique (les lignes) qui a trois paramètres (trois valeurs constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$ ).

La formule quadratique modélisant l'évolution des seuils de contraste est la suivante:

$$\log(\alpha) = a_e + b_e * \log(h) + c_e * \log(h)^2; \quad (13)$$

L'analyse quadratique selon 42 paramètres montre que la même fonction ayant des paramètres  $a$ ,  $b$  et  $c$  différents pour chacune des excentricités,  $e$ , permet de prédire les seuils de contraste pour la tâche de détection et d'identification dans les trois excentricités (cf. figure 41). Dans cette figure, les points sont les données qui proviennent de l'analyse indépendante (48 paramètres) et les lignes sont des données qui proviennent de l'analyse quadratique (42). Les deux types de données s'ajustent et montrent que le modèle quadratique est valable pour prédire les seuils permettant la détection et l'identification

des lettres symétriques.

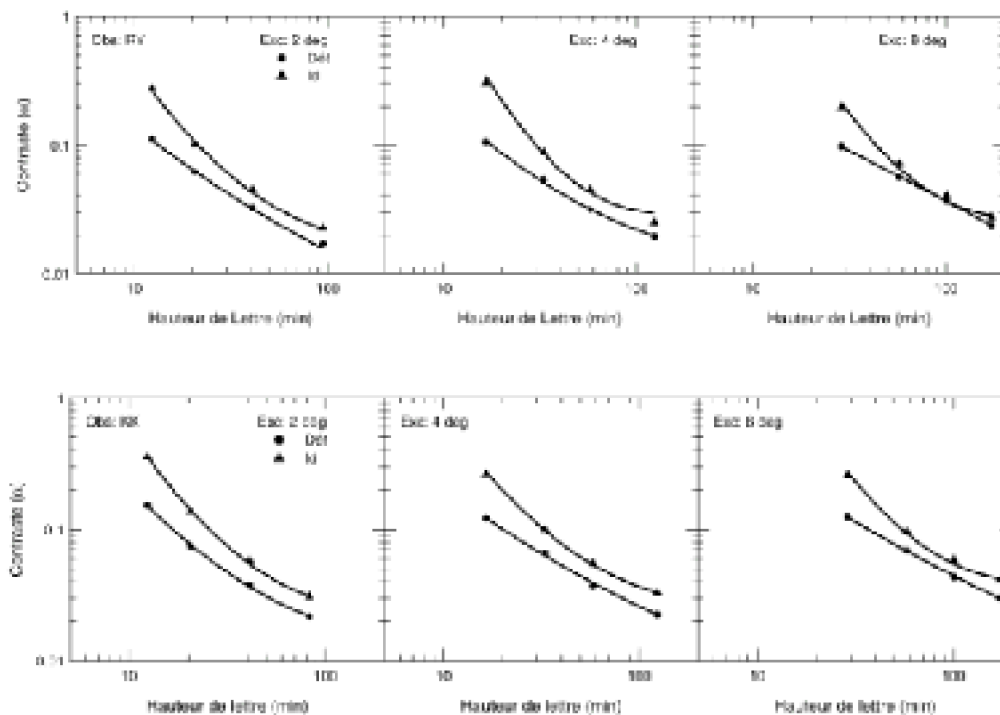


Figure 41. Représentation des seuils de contraste en fonction des excentricités pour les deux sujets. Les points proviennent de l'analyse indépendante effectuée selon 48 paramètres. Les courbes d'ajustement proviennent de l'analyse quadratique effectuée selon 42 paramètres.

### 3.4.2. Analyse des seuils en fonction des facteurs d'échelle

Afin de vérifier si les tâches de détection et d'identification sont les mêmes dans les trois excentricités hormis un facteur de mise à l'échelle, les valeurs de seuils sont modélisées par une fonction quadratique qui a cinq paramètres (3 constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$ , taille de la lettre et un facteur de mise à l'échelle correspondant à la translation horizontale des courbes en fonction des excentricités). La formule utilisée a la forme suivante :

$$\log(\alpha) = a + b * \log(h/\varepsilon) + c * \log(h/\varepsilon)^2; \quad (14)$$

La figure 42 montre que l'évolution des seuils en fonction des tailles peut être

vertu de la loi du droit d'auteur.

modélisée par un modèle quadratique identique pour les trois excentricités ne différant que par un facteur d'échelle ( $\varepsilon$ )

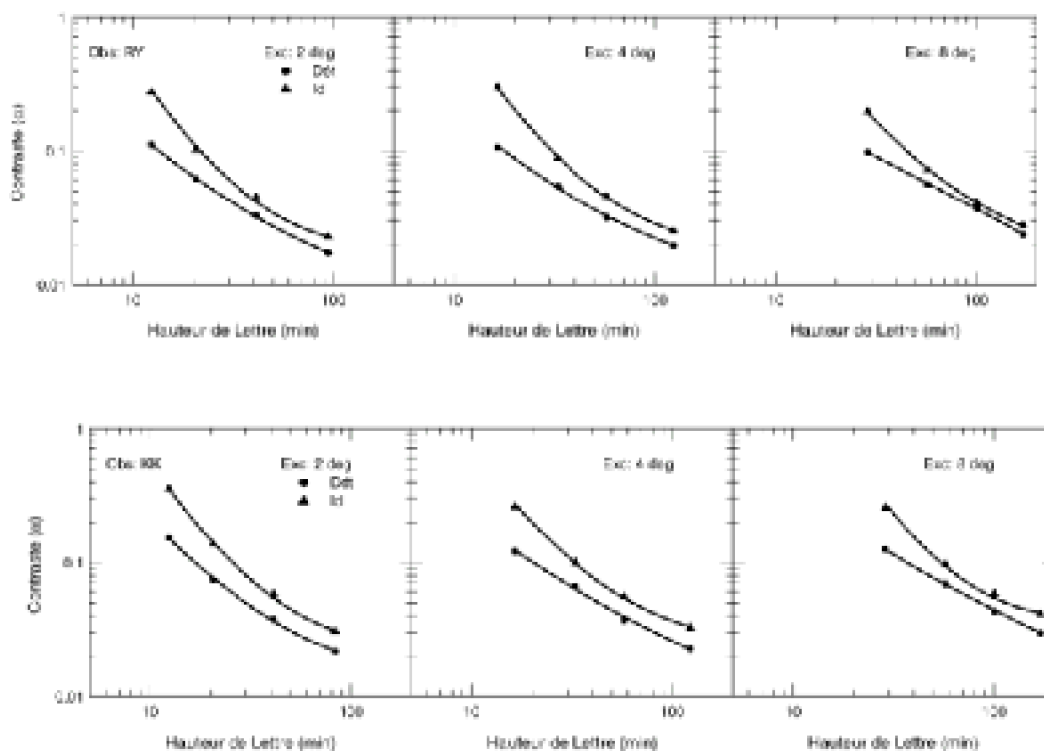


Figure 42. Les seuils de contraste de l'analyse indépendante selon 48 paramètres sont représentés pour la détection (cercles) et pour l'identification (triangles). Ces points sont ajustés par une analyse quadratique pour chacune des tailles et chacune des excentricités (les courbes) pour le sujet RY en haut et le sujet KK en bas.

### 3.4.3. Facteur de mise à l'échelle de l'analyse quadratique

Afin de comparer l'évolution des deux tâches à travers le champ visuel, la valeur du facteur de mise à l'échelle nécessaire pour chacune des tâches en fonction des excentricités a été calculée. Il s'agit de la translation horizontale des courbes des seuils en fonction des excentricités (cf. figure 42).

La figure 43 montre les valeurs des facteurs d'échelle nécessaires pour chacune des excentricités. La valeur du facteur d'échelle de l'excentricité de 2° est égale à 1 par

définition. Il est clair, dans la figure 43, que les facteurs d'échelle nécessaires pour égaliser la tâche de détection ne sont pas très différents. On observe une légère supériorité des facteurs d'échelle de la tâche de détection à une excentricité de 8°.

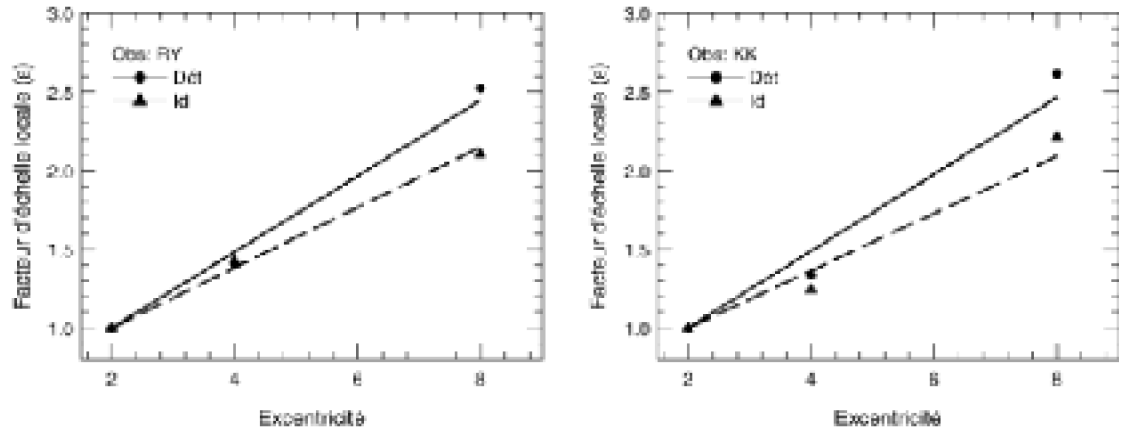


Figure 43. Représentation des facteurs d'échelle ( $\epsilon$ ), nécessaires pour chacune des tâches, ajustés par une fonction du moindre carré pour les deux observateurs (RY et KK).

#### 3.4.4. Calcul des facteurs de $E_2$ selon l'analyse quadratique

Le  $E_2$  ou l'excentricité à laquelle les performances baissent de moitié est un indice de l'évolution des tâches à travers le champ visuel. Afin de comparer les deux tâches il est nécessaire de calculer leur  $E_2$ . La valeur de cet indice est calculée selon la valeur de la pente de la droite ajustée aux facteurs d'échelle pour chacune des tâches en utilisant la formule suivante (cf. figure 43):

$$E_2 = (1/m) - 2 ; (14)$$

où  $m$  est la pente de l'évolution du facteur d'échelle en fonction des excentricités pour chacune des tâches. Les valeurs de  $E_2$  pour chacune des tâches sont représentées dans le tableau 11 :

Tableau 11. Les valeurs du  $E_2$  pour chacune des tâches et pour chacun des deux sujets.

Sujet	Tâches	
	Det.	Id.
KK	2.4	3.36
RY	2.06	2.82

Les résultats présentés ici confirment les résultats obtenus dans l'analyse précédente, à savoir que les deux tâches baissent selon un même rythme. Le  $E_2$ , indice de l'évolution de la tâche dans la périphérie, ne montre pas une baisse plus rapide pour la tâche d'identification que pour la tâche de détection.

#### 3.5. ANALYSE EN FONCTION D'UN CONTRASTE FIXE

Il est important de vérifier si la différence entre les résultats de notre étude et ceux



obtenus précédemment par Farrel et Desmarais (1990) et Saarinen, et al. (1989) est due à la méthode expérimentale. A savoir que dans la présente étude les niveaux de contraste pour les deux tâches étaient très bas et variaient entre 0.03 et 0.4, alors que les niveaux de contraste utilisés par les autres auteurs étaient fixes et de haut niveau. En effet, Farrel et al. (1990) ont utilisé un seul niveau de contraste de 0.84 et Saarinen et al. (1989) ont utilisé un seul niveau de contraste de 0.94.

Nous nous posons deux questions. La première concerne le mode d'utilisation du contraste, la différence de nos résultats par rapport à ceux de ces deux études est-elle due au fait qu'ils ont utilisé un contraste fixe alors que nous avons utilisé un contraste variable ? La deuxième question concerne le niveau de contraste, la différence de nos résultats par rapport à ceux observés dans ces deux études, est-elle due au fait qu'ils ont utilisé un haut niveau de contraste alors que nous avons utilisé un bas niveau de contraste ?

Afin de répondre à ces deux questions, nous avons analysé les performances des deux observateurs à des niveaux de contraste fixes, un niveau minimal et un autre maximal (cf. figure 44 : les lignes discontinues verticales).

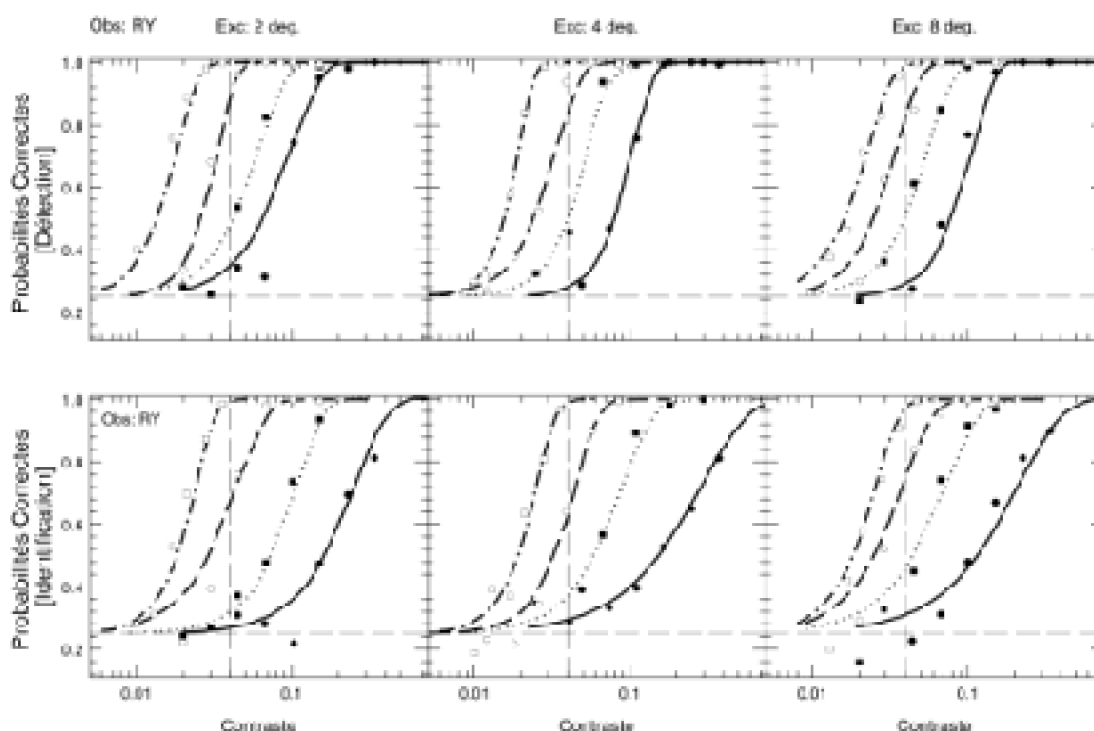
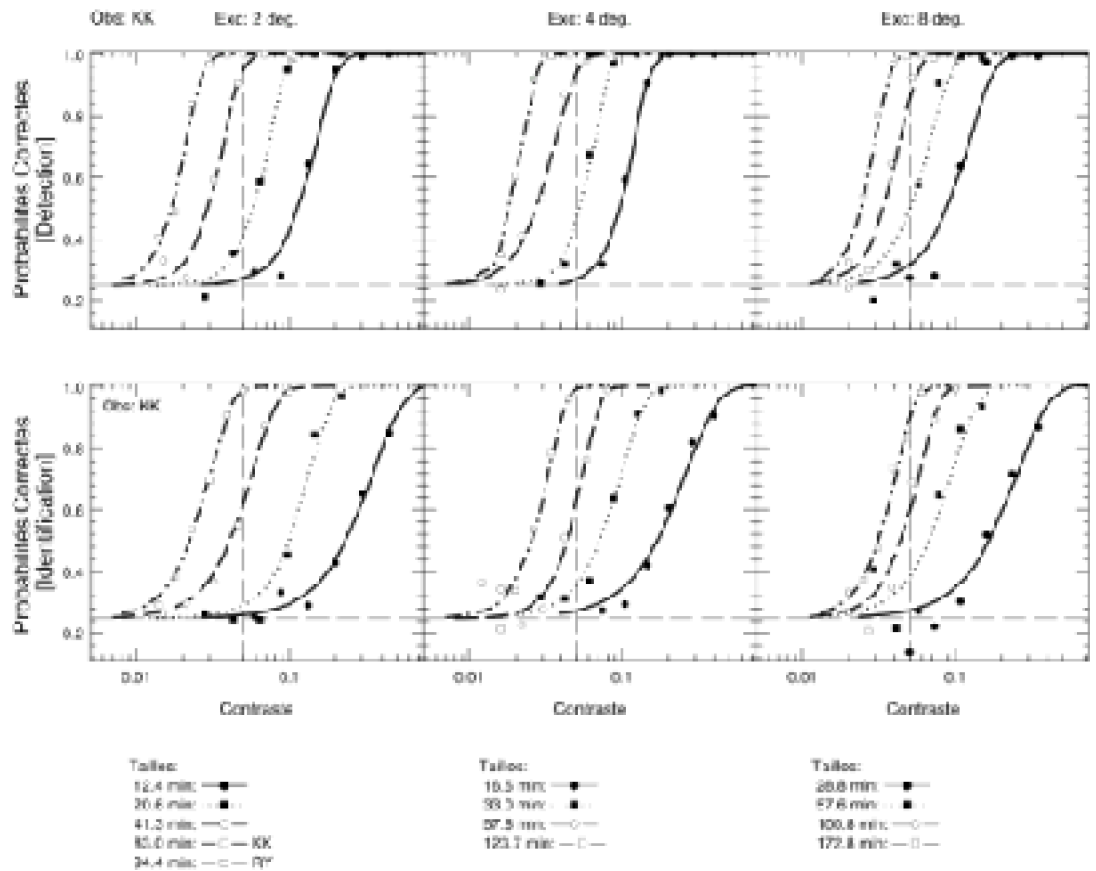


Figure 44. Représentation des performances de bonnes réponses détection et identification selon un contraste fixe. La ligne verticale représente le niveau de contraste fixé à un minimum de 0.04 pour le sujet RY et à 0.05 pour le sujet KK. La ligne discontinue horizontale représente le niveau chance des bonnes réponses.



Les valeurs de  $E_2$  sont calculées par rapport à deux niveaux de contraste fixes. Le niveau de contraste minimal est de 0.04 et 0.05 pour RY et KK, respectivement (cf. figure 44). Le niveau de contraste maximal est de 0.08 et 0.1 pour RY et KK, respectivement. Les valeurs du  $E_2$  sont présentées dans le tableau 12.

**Tableau 12.** Valeurs de  $E_2$  pour la tâche de détection et la tâche d'identification à des niveaux de contraste fixes.

Sujet	Valeurs de $E_2$					
	Cont.	Det	Id	Cont.	Det	Id.
RY	0.04	1.35	3.89	0.08	2.52	4.72
KK	0.05	1.83	2.06	0.10	2.22	5.58

Les valeurs de  $E_2$  sont plus élevées dans la condition d'un haut niveau de contraste. Ceci indique qu'à un niveau de haut contraste les tâches visuelles se dégradent moins rapidement qu'à un niveau de bas contraste. A noter aussi que les  $E_2$  de la tâche d'identification sont supérieurs aux  $E_2$  de la tâche de détection.

Saarinen et al. (1989) ont présenté les stimuli dans le champ visuel nasal et dans notre expérience les stimuli étaient présentés dans quatre champs visuels (nasal, temporal, supérieur et inférieur). Ainsi, il est important de vérifier que la différence de nos résultats par rapport à ceux des études précédentes n'est pas due au champ visuel étudié.

---

Dans les analyses que nous avons effectuées dans les sections précédentes, les performances des observateurs étaient analysées de façon globale, les différentes positions dans le champ visuel étaient analysées ensemble. Il est possible que les deux tâches visuelles évoluent différemment selon qu'elles sont étudiées dans l'axe visuel horizontal (nasal et temporal) ou dans l'axe visuel vertical (supérieur et inférieur) du champ visuel.

### **3.6. ANALYSE SELON L'AXE VISUEL**

Les performances des observateurs ont été analysées séparément pour les deux axes du champ visuel. L'axe visuel horizontal inclut le champ visuel temporal et nasal et l'axe visuel vertical inclut le champ visuel supérieur et inférieur.

La figure 45 représente les seuils de contraste de **l'axe visuel horizontal**. Les points représentent les seuils de l'analyse indépendante et les lignes les seuils de l'analyse quadratique selon le facteur d'échelle. Les seuils baissent en fonction des tailles et sont horizontalement translatés en fonction des excentricités.

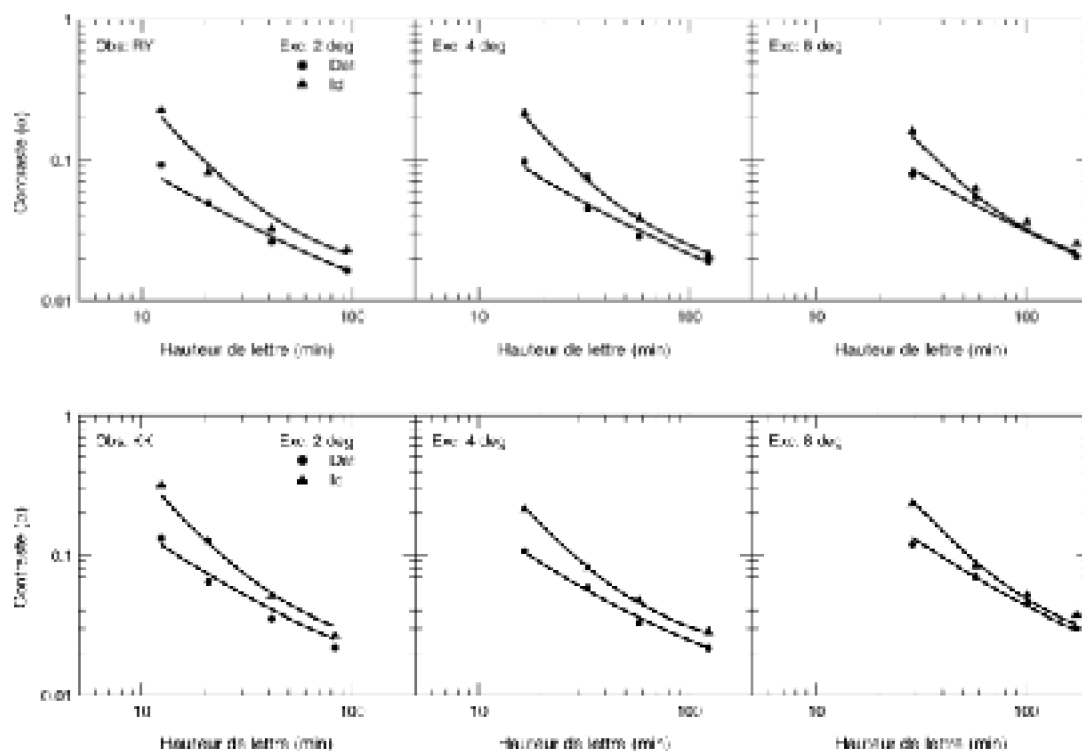


Figure 45. Les points représentent les seuils de l'analyse indépendante des données de l'axe horizontal. Les lignes représentent les seuils de l'analyse quadratique selon un facteur d'échelle pour le même axe visuel.

La figure 46 représente les seuils de contraste de l'axe visuel vertical. Les points représentent les seuils de l'analyse indépendante et les lignes les seuils de l'analyse quadratique selon le facteur d'échelle. Les seuils baissent en fonction des tailles et sont horizontalement translatés en fonction des excentricités.

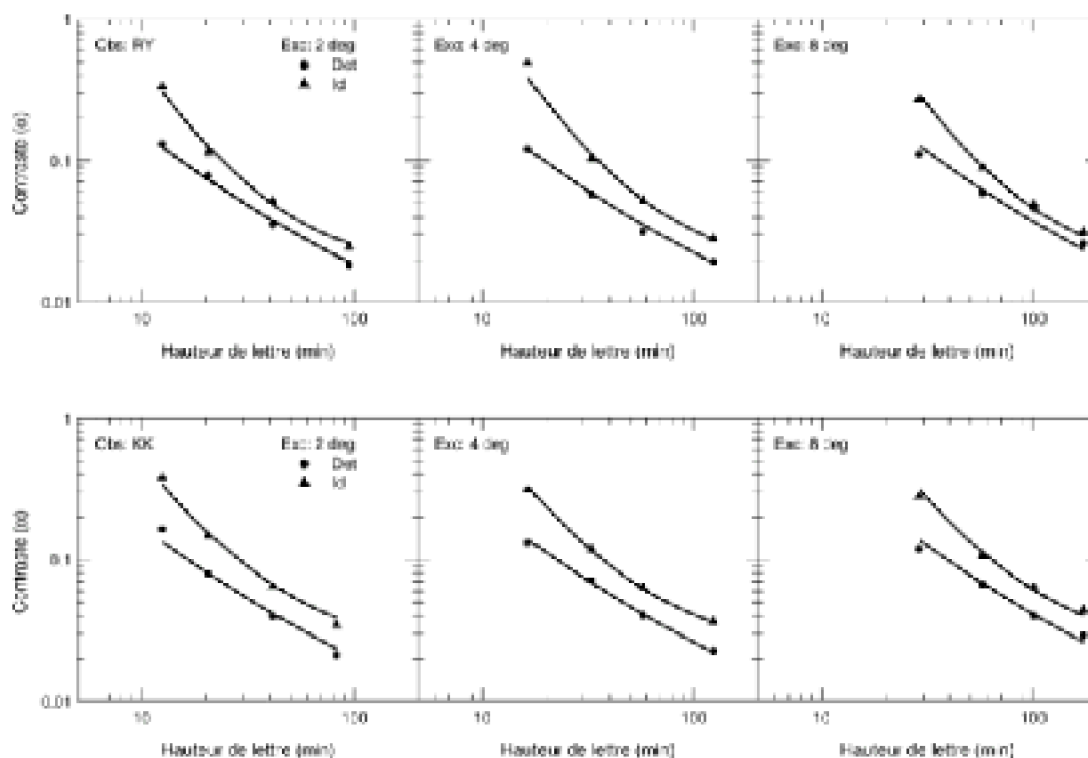


Figure 46. Les points représentent les seuils de l'analyse indépendante des données de l'axe visuel vertical. Les lignes représentent les seuils de l'analyse quadratique selon un facteur d'échelle pour le même axe visuel

La translation des courbes selon les excentricités permet de calculer le facteur d'échelle.

### 3.6.1. Facteur d'échelle

Pour une vérification plus fine, les facteurs d'échelle pour les deux axes sont calculés séparément afin de vérifier si une différence systématique apparaît dans les deux axes visuels.

Les facteurs d'échelle des lettres symétriques en miroir présentées sur l'**axe horizontal** du champ visuel sont calculés à partir des translations des courbes des seuils sur l'axe des tailles en fonction des excentricités.

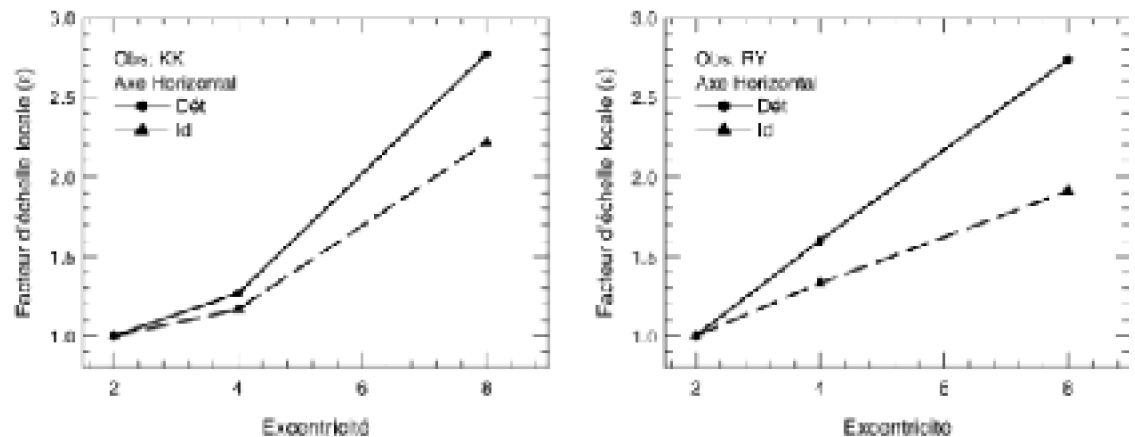


Figure 47. Représentation des facteurs d'échelle locale pour l'axe horizontal et chacune des excentricités (les points). Ces points sont reliés par des segments de lignes.

La figure 47 montre que les facteurs d'échelle augmentent en fonction des excentricités pour les deux sujets. Cependant, on observe que les facteurs d'échelle de la tâche de détection sont supérieurs à ceux de la tâche d'identification pour les deux observateurs et dans les deux excentricités 4 et 8°. Ces résultats incohérents sont probablement dus au nombre insuffisant d'essais analysés puisque les données représentent la moitié de celles utilisées dans l'analyse quadratique globale.

Les facteurs d'échelle concernant les lettres présentées dans le champ visuel supérieur et inférieur (axe visuel vertical) sont calculés à partir de la translation des courbes des seuils sur l'axe des tailles en fonction des excentricités.

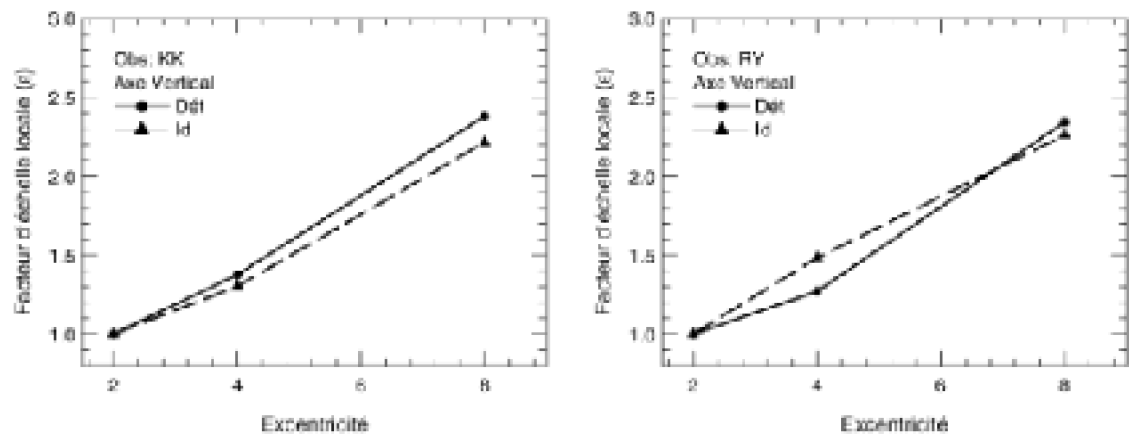


Figure 48. Représentation des facteurs d'échelle locale pour l'axe visuel vertical à chacune des excentricités (les points). Ces points sont reliés par des segments de lignes

La figure 48 montre que les valeurs des facteurs d'échelle sont légèrement plus basses sur l'axe vertical que celles de l'axe horizontal. Elles sont plus proches entre les deux tâches dans cette analyse que dans l'analyse portant sur l'axe horizontal.

### 3.6.2. Valeurs de $E_2$ pour chacun des axes

Les valeurs du  $E_2$  sont calculées à partir des valeurs des facteurs d'échelle pour chacun des deux axes et chacune des deux tâches. Pour les deux observateurs, la valeur du  $E_2$  reste supérieure pour la tâche d'identification en comparaison avec celle de la tâche de détection. Dans l'analyse de l'axe visuel horizontal, le  $E_2$  de l'identification est 2 fois supérieur au  $E_2$  de la détection. Cette différence est moins importante sur l'axe vertical.

**Tableau 13.** Les valeurs du  $E_2$  pour chacune des tâches pour les deux axes du champ visuel (le sujet KK et le sujet RY).

Sujet	Hor.		Vert.	
	Det.	Id.	Det.	Id.
KK	1.73	3.79	2.56	3.28
RY	1.43	4.45	2.96	2.59

### **3.7. ANISOTROPIE DU CHAMP VISUEL**

Le champ visuel est anisotrope. Plusieurs analyses ont montré que l'acuité visuelle se dégrade différemment selon la portion du champ visuel étudiée (Fahle & Schmid, 1988 ; Sireteanu & Fronius, 1981 ; Bouma, 1973). Ces différences nous renseignent sur le traitement de l'information visuelle dans la partie périphérique du champ visuel. Ainsi, l'analyse séparée des seuils de contraste des deux axes visuels (horizontal et vertical) permet de suivre leur évolution à travers les excentricités.

#### ***3.7.1. Analyse de l'axe vertical***

Les performances concernant les lettres présentées sur l'axe visuel vertical (les champs visuels supérieur et inférieur) sont analysées séparément du reste des données.

Dans la figure 49, les lignes représentant les seuils de contraste pour l'axe vertical sont supérieures aux points représentant les seuils de l'analyse quadratique globale. Ceci indique une baisse des performances dans le champ visuel vertical (supérieur et inférieur).

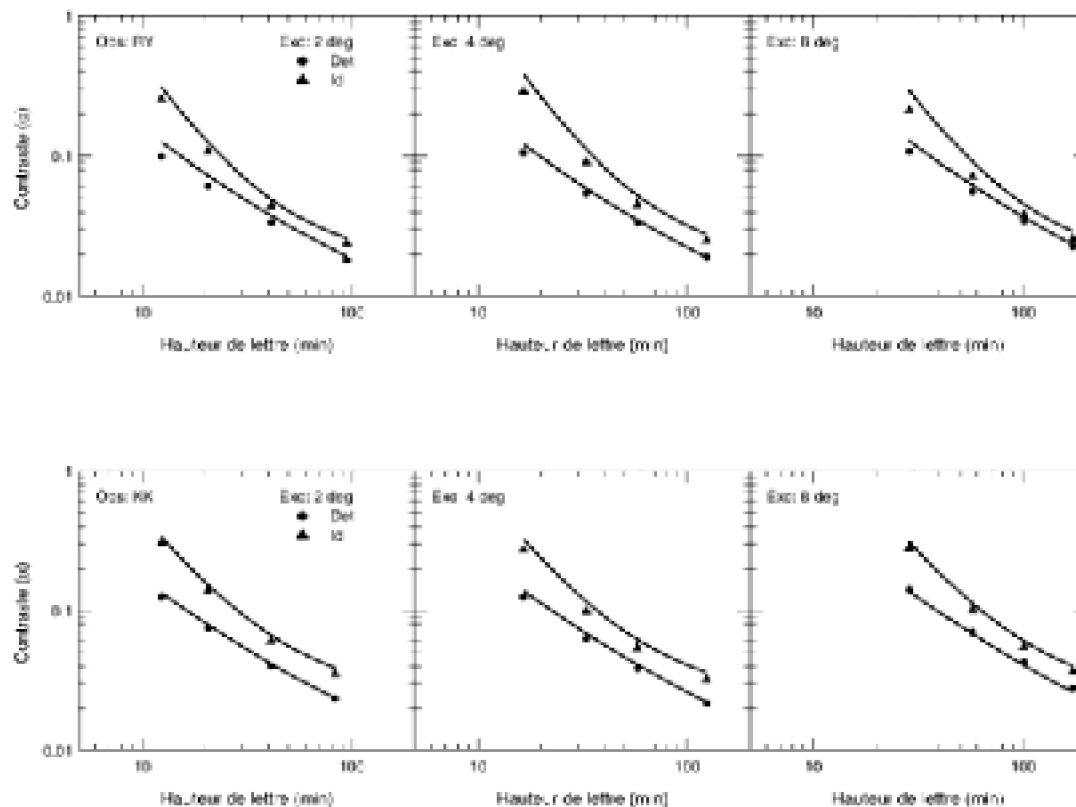


Figure 49. Représentation des seuils de contraste provenant de l'analyse quadratique. Les seuils de l'axe visuel vertical sont représentés par des lignes. Les seuils de l'analyse globale sont représentés par des cercles pour la détection et par des triangles pour l'identification.

### 3.7.2. Analyse de l'axe horizontal

Les lignes représentant les seuils de contraste pour l'axe horizontal sont inférieures aux points représentant les seuils de l'analyse quadratique globale. Ceci indique une meilleure performance dans le champ visuel horizontal (nasal et temporal).



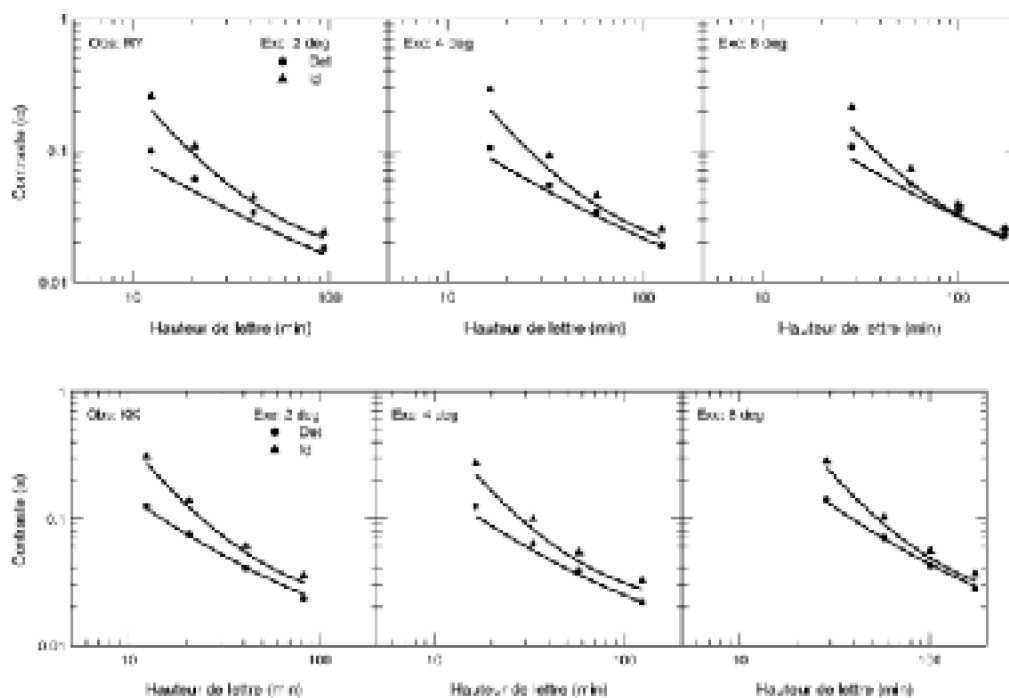


Figure 50. Représentation des seuils de contraste provenant de l'analyse quadratique. Les seuils de l'axe visuel horizontal sont représentés par des lignes. Les seuils de l'analyse globale sont représentés par des cercles pour la détection et des triangles pour l'identification

#### 4. Conclusions

Les seuils de contraste baissent en fonction des tailles indiquant plus de facilité à détecter et à identifier les stimuli de plus grandes tailles. La différence entre les seuils de détection et les seuils d'identification baisse en fonction des tailles. Ceci signifie qu'à une taille égale ou supérieure à 100 min. un niveau équivalent de contraste est nécessaire pour la localisation des stimuli dans le champ visuel et leur identification.

L'évolution du seuil en fonction des tailles peut être prédite par un modèle **linéaire**. En effet, les mêmes facteurs  $a$  et  $b$  hormis un facteur de mise à l'échelle différent selon les excentricités ont permis de prédire l'évolution des seuils en fonction des tailles. A noter

que les erreurs résiduelles étaient systématiques sur l'ensemble des seuils de l'analyse linéaire. Ainsi, l'évolution des seuils était mieux généralisée par un modèle **quadratique**. En effet, en utilisant trois constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$  et un facteur d'échelle différent pour chacune des trois excentricités il est possible de prédire l'évolution des seuils pour les deux tâches à travers le champ visuel. La différence entre les trois excentricités est compensée par un facteur de mise à l'échelle qui représente la translation systématique des courbes des seuils sur l'axe des tailles en fonction des excentricités.

Dans les études précédentes, les tailles utilisées étaient plus petites et le niveau de contraste plus haut (Farrel & Desmarais, 1990; Saarinen et al., 1989). Afin de vérifier si la différence entre nos résultats et ceux obtenus dans les études précédentes est due au choix de grandes tailles, une nouvelle expérience en utilisant des tailles minimales et un contraste élevé est réalisée.

## II. Expérience 2. Détection et identification de lettres de petites tailles et de haut contraste.

---

### 1. Introduction

Les études qui ont obtenu des résultats prédits par le modèle de Levi et al. (1985), c'est-à-dire que les tâches d'identification de chiffres ou de formes symétriques baissent plus rapidement en vision périphérique que les tâches de résolution spatiale et de détection, ont utilisé des stimuli de petite taille et un haut contraste. Les tailles étudiées par Farrel et Desmarais variaient entre 15 et 28 min. à une excentricité de 2°, entre 22 et 55 min. à une excentricité de 4° et entre 36 et 98 min. à une excentricité de 8°. Dans l'étude de Saarinen et al. (1987) les tailles utilisées variaient entre 36 et 60 min. à l'excentricité de 4° et entre 60 et 96 min. à une excentricité de 8°. Dans notre étude, les tailles étudiées à une excentricité de 2° étaient entre 12 et 94 min., les tailles étudiées à une excentricité de 4° étaient entre 16.5 à 124 min. et les tailles étudiées à une excentricité de 8° étaient entre 29 et 173 min.

L'hypothèse à vérifier est que si la différence entre nos résultats et ceux obtenus par Farrel et Desmarais (1985) et Saarinen et al. (1987) est due au fait qu'ils ont utilisé des petites tailles présentées à un haut contraste, alors l'utilisation de lettres symétriques de petites tailles et de haut contraste devrait nécessiter un facteur d'échelle plus élevé pour la tâche d'identification que pour la tâche de détection.

### 2. Méthode

#### 2.1. OBSERVATEUR

L'observateur RY qui a participé à l'expérience 1.

#### 2.2. MATÉRIEL ET STIMULI

Le même matériel et les mêmes formes de stimuli étaient utilisés dans l'expérience 1. A

l'excentricité de 2° les tailles présentées étaient de : 8 et 10 min. d'arc. A l'excentricité de 4° les tailles présentées étaient de : 12 et 14 min. A l'excentricité de 8° les tailles étaient de : 18, 20 et 25 min. d'arc.

### 3. Résultats

Les données ont été analysées de la même manière que dans l'analyse indépendante. Dans la figure 48, les seuils des trois excentricités sont représentés sur une même échelle afin de vérifier si les seuils de contraste des petites tailles évoluent différemment pour les deux tâches.

Les tailles étudiées dans les 3 excentricités ont été normalisées par les facteurs d'agrandissement, estimés dans la partie précédente, et représentées sur une même échelle de taille. Pour les deux tâches, les seuils des petites tailles n'évoluent pas différemment par rapport à ceux des grandes tailles de l'expérience 1.

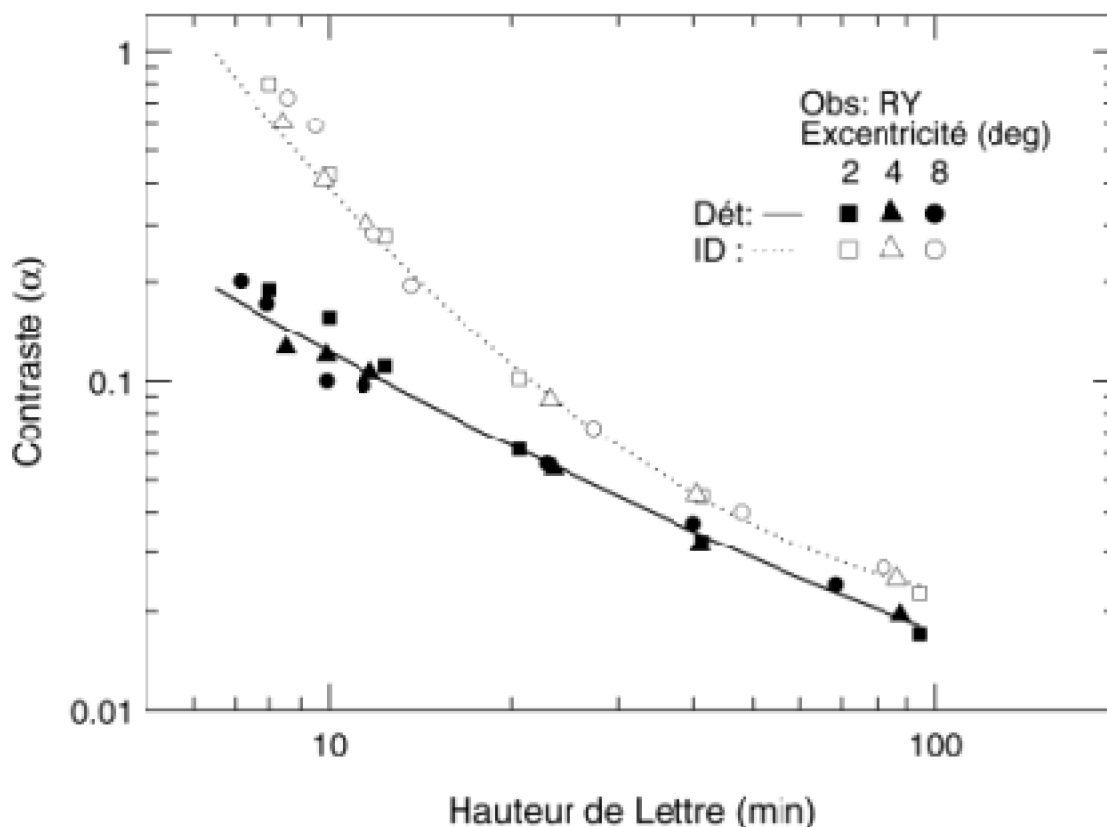
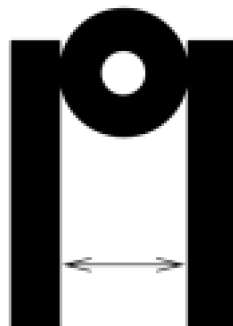


Figure 51. Représentation des seuils de contraste pour les trois excentricités sur le même axe. Les tailles ont été normalisées selon le facteur d'échelle pour les excentricités 4 et 8°. Les points représentent les seuils de l'analyse indépendante à 48 paramètres. Les lignes représentent les seuils de l'analyse quadratique à 42 paramètres.

#### 3.1. COHÉRENCE DES RÉSULTATS AVEC L'ACUITÉ VISUELLE

Afin de vérifier si nos résultats sont cohérents avec les contraintes connues de l'acuité

visuelle, nous avons estimé l'acuité visuelle pour chacune des 3 excentricités. Dans le contexte présent, l'acuité est définie comme la distance séparant les deux barres de deux lettres s'inversant en miroir sur un axe vertical (cf. figure 52).



*Figure 52. L'acuité visuelle est définie comme la distance séparant le centre de la barre de la lettre p du centre de la barre de la lettre q.*

Afin d'estimer la taille limite permettant une résolution, les seuils de la figure 51 des différentes excentricités ont été extrapolés jusqu'à une valeur maximale du contraste (1). Les estimations de l'acuité visuelle sont représentées dans la figure 53. La ligne représente les seuils de résolution trouvés par Wertheim (1894). Les cercles représentent la distance entre le centre de chaque paires de lettres (bd et pq) à un contraste de 1. On observe que l'augmentation de la séparation entre les deux lettres en fonction des excentricités correspond à l'augmentation des tailles résolues dans l'étude de Wertheim.

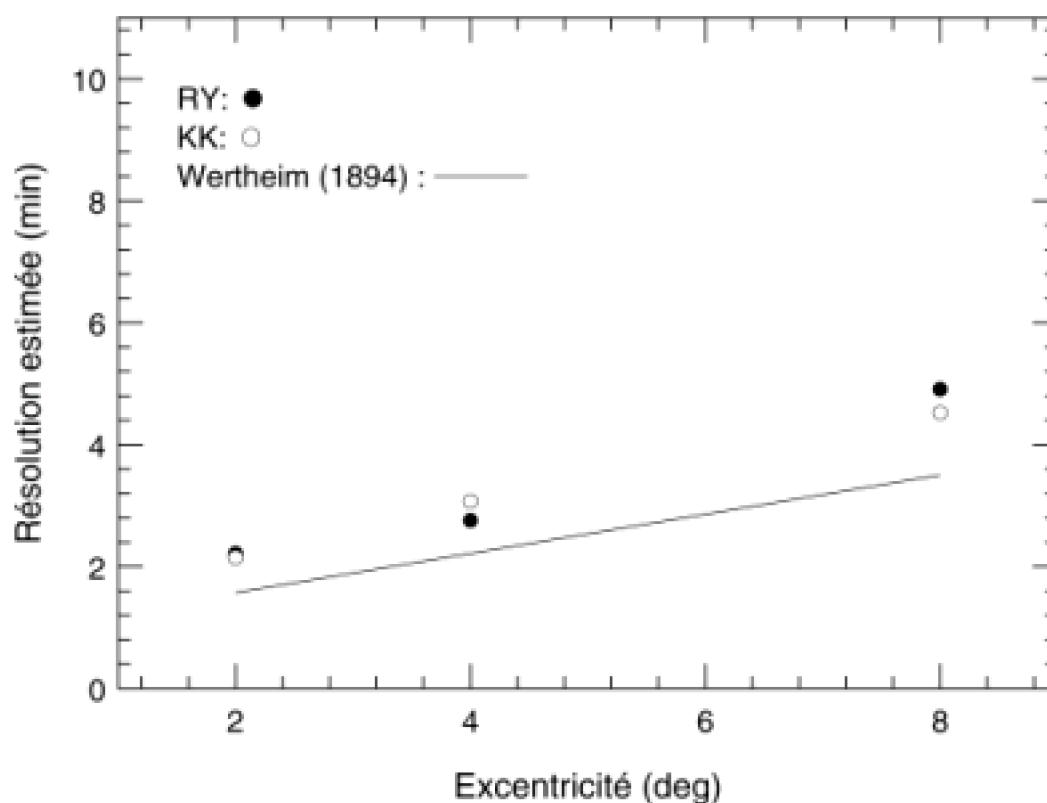


Figure 53. Représentation des valeurs de la résolution en fonction des excentricités obtenues par Wertheim (1894) (trait solide). Les points représentent les valeurs de distances permettant une résolution pour l'observateur RY (cercles noirs) et l'observateur KK (cercles vides). Les points de deux observateurs correspondant à l'excentricité de 2° se superposent.

#### 4. Conclusion

La différence entre nos résultats et ceux des autres auteurs n'est pas due à la taille des stimuli, car les seuils de contraste des petites tailles suivent la même évolution que les seuils de contraste des grandes tailles.

Dans l'étude de Saarinen et al. (1987) les stimuli étaient présentés à partir de leur bord contrairement à notre étude où les lettres étaient présentées à partir du centre du petit cercle (cf. figure 54). Ceci signifie que ce qui était considéré comme une excentricité  $E$  dans notre étude, était considéré comme une excentricité  $E$  plus  $x$  dans l'étude de Saarinen et al. (1989), où  $x$  correspond au décalage de la lettre  $p$  dans la figure 54. La comparaison entre les résultats de notre étude et ceux de Saarinen et al. (1989) nécessite une normalisation. Pour ce faire, nous avons suivi la logique suivante. Comme le facteur d'échelle évolue selon une fonction linéaire (cf. figure 43), nous avons estimé la nouvelle valeur du facteur d'échelle. Avec cette nouvelle valeur du facteur d'échelle nous avons ajusté les courbes de la figure 42. Ainsi, nous avons pu estimer les seuils de contraste en fonction des tailles pour chacune des excentricités (cf. figure 55).



Figure 54. Schématisation des deux modes de présentation des stimuli. Mode de notre présentation à partir du centre du petit cercle (P en haut). Mode de présentation de Saarinen et al. (1989) à partir du bord de la lettre (le p en bas).

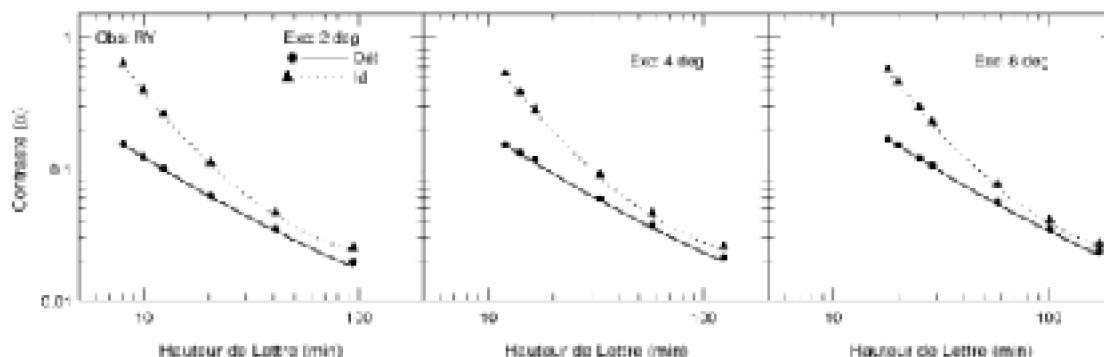


Figure 55. Les points représentent les valeurs des seuils de contraste recalculées en fonction d'une présentation de lettre par rapport à sa bordure, comme dans l'étude de Saarinen et al. (1989). Les lignes représentent l'ajustement selon une fonction quadratique.

La figure 55 montre des seuils identiques à ceux obtenus dans l'analyse qui a porté sur un mode de présentation à partir du centre de la lettre.

Les valeurs de  $E_2$ , calculées à partir du nouveau facteur d'échelle estimé selon une présentation selon le mode utilisé par Saarinen et al. (1998) sont présentées dans le tableau 14. Ces valeurs ne sont pas trop différentes de celles du  $E_2$  calculées dans l'analyse ayant utilisé un mode de présentation à partir du centre de la lettre.

Tableau 14. Valeurs des  $E_2$  pour les deux observateurs dans les deux tâches.

Sujet	Valeurs du $E_2$	
	Détection	Identification
RY	2.13	3.22
KK	1.94	3.15

La différence entre nos résultats et ceux obtenus par Saarinen et al. (1998) ne peut être due au mode de présentation dans le champ visuel. En effet, le calcul des seuils en fonction des nouvelles excentricités ne fournit pas d'arguments en faveur d'une différence entre les résultats obtenus selon une présentation à partir du centre de la lettre comparés à ceux obtenus selon une présentation à partir du bord de la lettre.

### Conclusions et discussion générale

La méthode de mise à l'échelle spatiale (agrandissement des tailles en fonction de l'excentricité) permet d'égaliser les performances de sensibilité au contraste (détection) dans trois excentricités (2, 4 et 8°) et quatre positions dans le champ visuel (nasale, temporale, supérieure et inférieure). Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus dans des études précédentes. Cette méthode de mise à l'échelle spatiale a permis aussi d'égaliser les performances de la tâche d'identification de lettres symétriques en miroir (b, d, p et q) et rejoint l'ensemble des arguments présentés par Higgins et al. (1996) et par Virsu et Rovamo (1979).

Il est supposé que la tâche d'identification de lettres ne différant que par leur phase baisse plus rapidement en périphérie et nécessite un agrandissement plus important que celui nécessaire pour la tâche de détection. La méthode de Watson appliquée dans l'étude présente donne des facteurs de mise à l'échelle équivalents pour la tâche de détection et d'identification. Ainsi, les résultats de notre étude confirment ceux obtenus par Higgins et al. (1996), Rovamo et Virsu (1979) et argumentent en faveur d'un modèle d'agrandissement à **échelle unique** pour les deux tâches visuelles de détection et d'identification de lettres symétriques en miroir ne différant que par leur phase.

Le calcul de la valeur du  $E_2$  confirme l'idée d'une évolution identique des deux tâches dans la périphérie. Ces résultats vont à l'encontre des prédictions de Klein et Tyler (1981) qui ont trouvé un  $E_2$  entre 0.3 et 0.9° pour les tâches nécessitant la discrimination de phase alors que les résultats de notre étude ont un  $E_2$  de 3.1°.

La différence entre nos résultats et ceux observés par d'autres études ne peut être due à la technique utilisée. En effet, l'analyse des performances selon des niveaux de contraste fixes (contraste variable et contraste fixe) produit des facteurs de mise à l'échelle et des valeurs de  $E_2$  équivalents pour les deux tâches.

Une analyse selon l'axe visuel de la présentation des stimuli (horizontal ou vertical) permet d'affirmer que l'analyse globale des deux axes n'explique pas la différence de nos résultats par rapport à ceux obtenus par d'autres auteurs qui ont étudié le champ visuel inférieur.

Sagi & Julesz (1985), dans une expérience portant sur l'exploration visuelle, ont trouvé que la localisation (l'estimation du nombre de cibles sans tenir compte de leur

orientation) a lieu de façon pré-attentive et précoce, tandis que l'identification (qui consiste à dire si les cibles sont les mêmes ou différentes) nécessite une attention plus focalisée d'où un temps de réaction plus long. Ainsi, on pourrait attribuer les baisses rapides des performances de discrimination de l'étude de Saarinen et al. (1987) à la tâche choisie. En effet, l'observateur devait identifier la ressemblance ou la dissemblance (pareil/différent) entre deux stimuli symétriques en miroir.

Ainsi, le facteur de mise à l'échelle est différent pour deux tâches d'identifications. Il est plus important pour une tâche d'identification dans laquelle l'observateur doit décider si deux motifs sont similaires ou différents que pour une tâche dans laquelle le sujet doit reconnaître une lettre présentée seule et ne différant que par sa phase des autres lettres à identifier.

D'après Strasburger et al. c'est à partir de l'excentricité de 6° environ que la différence entre la tâche d'identification et la tâche de sensibilité au contraste commence à s'accroître. Ainsi, on pourrait conclure qu'il est nécessaire d'utiliser des facteurs de mise à l'échelle plus grands pour la tâche d'identification que pour la tâche de détection comme l'ont proposé Levi et al. mais à partir d'une excentricité supérieure à 6°.

Il est à noter que Strasburger et al. ont utilisé une pente ( $\beta$ ) fixe. Dans notre modèle, la valeur de la pente variait selon les fonctions psychométriques pour deux raisons. La première était que la valeur de la pente ne changeait pas systématiquement d'une taille à l'autre. La deuxième était que l'étude du seuil procure une exactitude 6 fois supérieure à celle de la pente.

Le changement de la vision périphérique par rapport à la vision fovéale ne réside pas uniquement dans la différence de tailles. Il réside aussi dans deux facteurs supplémentaires. Le **premier** facteur est le type de tâche visuelle utilisée pour mesurer les performances. Lorsque la tâche d'identification concerne des stimuli ne différant que par leur phase l'agrandissement nécessaire pour égaliser les performances est identique à celui proposé par Rovamo et Virsu (1979). En effet, les observateurs ont un repère qui les aide à identifier les lettres, lorsque la barre est placée à droite et en haut du cercle, il s'agit de la lettre **d**, lorsque la barre est placée à gauche et en bas du cercle il s'agit de la lettre **p**. Cependant, lorsqu'il s'agit d'identifier un des dix caractères alphanumériques possibles (de 0 à 9) le facteur de mise à l'échelle nécessaire est plus grand que celui proposé par Rovamo et Virsu (1979). Dans cette situation, l'observateur n'a pas de repère aussi facile que dans la condition de lettres symétriques en miroir ne différant que par leur phase.

Le **deuxième** facteur est le niveau de contraste. Strasburger et al. (1994) ont observé que lorsque les stimuli avaient un haut contraste la théorie de Rovamo et Virsu (1979) était applicable. Les observations de Strasburger et al. (1994) sont confirmées par Melmoth, Tukkonen, Mäkelä et Rovamo (2000) qui ont montré que dans une tâche de discrimination de visage, la mise à l'échelle concernait deux facteurs qui sont la taille des stimuli et aussi leur niveau de contraste. Ainsi, Melmoth et al. (2000) ont proposé une mise à l'échelle à double dimensions (taille et contraste).

Nos résultats montrent que le champ visuel est anisotrope. Les seuils de contrastes sont plus élevés dans l'axe visuel vertical que dans l'axe visuel horizontal. En effet, les



---

seuils de détection et d'identification sont plus élevés sur l'axe vertical que sur l'axe horizontal (cf. figure 49 et 50). Nous pouvons suggérer que cette différence est due à la distribution des cellules ganglionnaires qui sont plus denses sur l'axe horizontal que sur l'axe vertical (Hughes, 1977).

Deux questions méritent une investigation plus approfondie. La première, concerne l'anisotropie du champ visuel. Une nouvelle analyse des données de l'expérience 1 nous renseignera sur les caractéristiques du champ visuel. Ainsi, la deuxième section de ce chapitre sera consacrée à l'analyse des confusions commises par les observateurs et une schématisation du champ visuel.

La deuxième question concernera le rapprochement systématique entre les courbes de seuils de contraste vs. tailles de la tâche de détection et d'identification (cf. figure 38). Ainsi, la troisième section sera consacrée à l'étude d'un modèle d'observateur idéal.

### **III. Analyse des confusions de lettres symétriques en vision périphérique.**

---

Après avoir analysé les bonnes réponses de détection et d'identification de lettres symétriques en miroir (b, d, p et q) en périphérie de 2, 4 et 8°, il est utile de connaître le type de confusion le plus souvent commis par les observateurs. En d'autres termes, quelles sont les confusions les plus fréquentes (e.g. b en d, p en q ou b en p) et sur quel méridien du champ visuel (horizontal ou vertical) ?

Le présent chapitre détaille les études qui ont traité des erreurs de confusion, ensuite il présente un tableau des types de confusions susceptibles d'être commis dans l'expérience 1. Enfin, une représentation des fréquences de confusions par type et par méridien du champ visuel suivie d'une analyse ANOVA.

#### **1. Introduction**

L'analyse des erreurs d'identification nous renseigne sur les difficultés du traitement des images en miroir. L'étude de Tordin & Blough (1983) a montré que les pigeons confondaient plus les paires de stimuli symétriques en miroir que celles des stimuli non symétriques. Les expériences ont montré aussi que les observateurs humains confondaient plus les stimuli symétriques en miroir sur l'axe vertical que les stimuli symétriques sur l'axe horizontal (par exemple plus de confusions de type b en d que de type d en q, voir figure 56). Cette différence entre les deux inversions évolue au cours du développement. En effet, les enfants ont du mal à discriminer des stimuli symétriques sur l'axe vertical jusqu'à l'âge de 7 ans alors qu'ils discriminent les stimuli symétriques sur l'axe horizontal à partir de l'âge de 3 ans.

De plus, le mode de présentation de la paire des stimuli a un impact sur les performances de l'observateur, car une présentation latérale des deux stimuli prête plus à confusion qu'une présentation verticale (Huttenlocher, 1967).

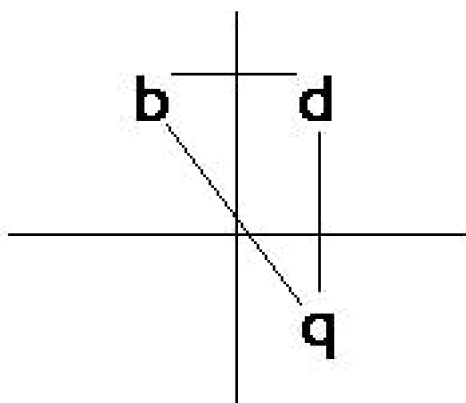


Figure 56. Représentation des types d'erreurs. Un 'b' inversé en miroir sur l'axe vertical donne un 'd'. Un 'd' inversé sur l'axe horizontal donne un 'q'. Un 'q' est le résultat d'une inversion sur l'axe oblique de la lettre 'b'.

Pourquoi les confusions entre les stimuli symétriques en miroir sur l'axe vertical sont-elles plus nombreuses que les confusions entre stimuli symétriques en miroir sur l'axe horizontal?

### 1.1. CONFUSIONS LATÉRALES VERSUS CONFUSIONS VERTICALES

Trois théories proposent d'expliquer la tendance des observateurs à commettre plus de confusions latérales que de confusion verticales.

La **première** théorie se base sur le fait que les inversions latérales ne donnent pas d'informations différentes (par exemple un tigre orienté vers la gauche ou vers la droite est toujours menaçant). Tandis que l'inversion verticale apporte des informations très différentes (par exemple un tigre est plus menaçant debout que lorsqu'il a le dos sur le sol) (Corballis & Beale, 1976).

La **deuxième** théorie définit la confusion entre les images latérales en miroir comme une conséquence accidentelle de la symétrie bilatérale du système visuel. Les connexions corticales homotopiques relient les deux mêmes aires visuelles de chaque hémisphère en passant à travers le corps calleux. Noble (1968) a proposé que chaque hémisphère reçoit des entrées directes et des entrées indirectes à travers les connexions homotopiques. Comme les deux hémisphères sont l'image en miroir l'un de l'autre et que les connexions inter-hémisphériques relient des points correspondants, les neurones activés dans l'hémisphère gauche par un 'b' seraient reliés aux neurones activés par 'd' dans l'hémisphère droit. Il en résulte qu'un même stimulus active les deux populations et provoque une confusion.

La **troisième** théorie propose que la confusion latérale est directement corrélée à l'activité neuronale (Rollenhagen & Olson, 2000). Les auteurs ont effectué un enregistrement électrophysiologique de l'activité des neurones de l'aire inférotemporale chez les singes, aire critique de la reconnaissance des objets chez l'humain et chez le

singe (Logothetis & Scheinberg, 1996). Les résultats ont montré un profil d'activité neuronale similaire lorsque les deux stimuli sont symétriques en miroir sur l'axe vertical, tandis que l'inversion sur l'axe horizontal provoque un profil d'activité neuronale différent. Ainsi, l'observateur confond plus les stimuli inversés sur l'axe vertical et moins les stimuli inversés sur l'axe horizontal parce que l'activité neuronale est similaire dans la première condition et elle est différente dans la deuxième.

Des études psychophysiques ont classé les orientations traitées par le système visuel en deux types : tangentielles et radiales (cf. figure 57).

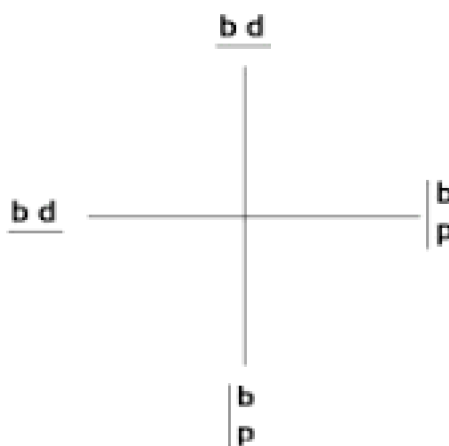


Figure 57. Représentation de l'orientation radiale et tangentielle. L'orientation de la paire de lettres 'bd' présentée dans le champ visuel supérieur correspond à une discrimination tangentielle. Cette même paire présentée dans le champ visuel latéral correspond à une orientation radiale.

## 1.2. ANISOTROPIE DE LA SENSIBILITÉ À L'ORIENTATION

Comme l'illustre la figure 57, une orientation tangentielle est une orientation orthogonale par rapport au méridien et correspond à une confusion de **b** en **d** dans la partie supérieure du champ visuel. Tandis qu'une orientation radiale est une orientation qui va dans le même sens que le méridien et correspond à une confusion de **b** en **d** dans la partie gauche du champ visuel.

La vision fovéale se distingue par un **effet oblique**, c'est-à-dire que les réseaux obliquement orientés sont moins bien discriminés que les réseaux orientés horizontalement ou verticalement (Appelle, 1972).

En périphérie, on peut distinguer deux effets différents selon la tâche exécutée. Lorsqu'il s'agit de tâche de détection de contraste et de résolution spatiale on observe un effet **tangentiel**, c'est-à-dire que les réseaux orientés de façon tangentielle (e.g. **bd** en haut de la figure 57) sont moins discriminés que les mêmes réseaux présentés de façon radiale (e.g. **bd** à gauche de la figure 57) (Rovamo, Virsu, Laurinen & Hyvarinen, 1982;

Temme, Malcus & Noell, 1985).

En revanche, lorsque la tâche est une acuité de positionnement (e.g. tâche de bissection : juger l'éloignement entre deux points) un effet **radial** a été observé. C'est-à-dire que les stimuli orientés de façon tangentielle sont mieux discriminés que les stimuli ayant une orientation radiale (Yap, Levi & Klein, 1987).

A partir de cette introduction théorique, deux anticipations sont formulées concernant les confusions commises dans l'expérience 1. La première anticipation est que les confusions de type lettres symétriques inversées sur l'axe vertical (e.g. bd ou pq) seront plus nombreuses que les confusions de type lettres symétriques inversées sur l'axe horizontal (e.g. bp ou dq).

La deuxième anticipation est que les confusions radiales seront les plus nombreuses puisqu'il s'agit d'une étude en périphérie et d'une tâche de discrimination de la position de la phase. C'est-à-dire que dans le champ visuel supérieur et inférieur les observateurs confondront plus les lettres (dq) et en vision nasale et temporale ils confondront plus les lettres de type (bd).

### **1.3. TYPES DE CONFUSIONS**

Lorsque la lettre 'b' est présentée et que l'observateur répond 'd' il s'agit d'une erreur de réflexion sur l'axe vertical. Si face à un 'd' l'observateur reconnaît un 'q' il s'agira alors d'une inversion sur l'axe horizontal. Enfin, la lettre 'b' reconnue comme 'q' est une inversion sur l'axe oblique.

**Tableau 15.** La première colonne à gauche représente les lettres présentées sur l'écran. La ligne du haut représente les réponses de l'observateur : les lettres correctement identifiées (Cor.), inversion sur l'axe vertical (V), inversion sur l'axe horizontal (H), inversion sur l'axe oblique (O).

Lettre présentée	Réponses de l'observateur			
	b	d	p	q
b	cor	V	H	O
d	V	cor	O	H
p	H	O	cor	V
q	O	H	V	cor

### **1.4. CONFUSIONS TANGENTIELLES OU RADIALES**

Les confusions de type horizontal et vertical commises par les observateurs peuvent être classées en confusion tangentielle ou radiale selon leur position dans le champ visuel comme l'explique le tableau 16.

**Tableau 16.** Les confusions sont classées en fonction de leur inversion sur un axe et leur position dans le champ visuel. Une confusion de type V dans le champ visuel supérieur/inférieur (SI) correspond à une orientation tangentielle (T). Cette même confusion correspond à une orientation radiale (R) dans le champ visuel latéral gauche/droit (GD) et vice versa pour l'erreur H.

Type confusion	SI	GD
V : (p q) & (b d)	T	R
H : (p b) & (d q)	R	T

Une confusion sur l'axe vertical correspond à une orientation tangentielle lorsqu'elle est commise sur le méridien vertical du champ visuel et elle correspond à une orientation radiale lorsqu'elle est commise sur le méridien horizontal.

## 2. Analyse des confusions

Différentes études ont montré une plus grande confusion pour les paires de stimuli symétriques inversés sur l'axe vertical que pour les paires de stimuli inversés sur l'axe horizontal.

Dans notre étude, les confusions de type inversion sur l'axe horizontal sont plus nombreuses que les confusions de type inversion sur l'axe vertical ou oblique. La figure 58 montre que tous les types de confusions sont plus nombreux sur le méridien vertical du champ visuel (SI) que sur le méridien horizontal (GD).

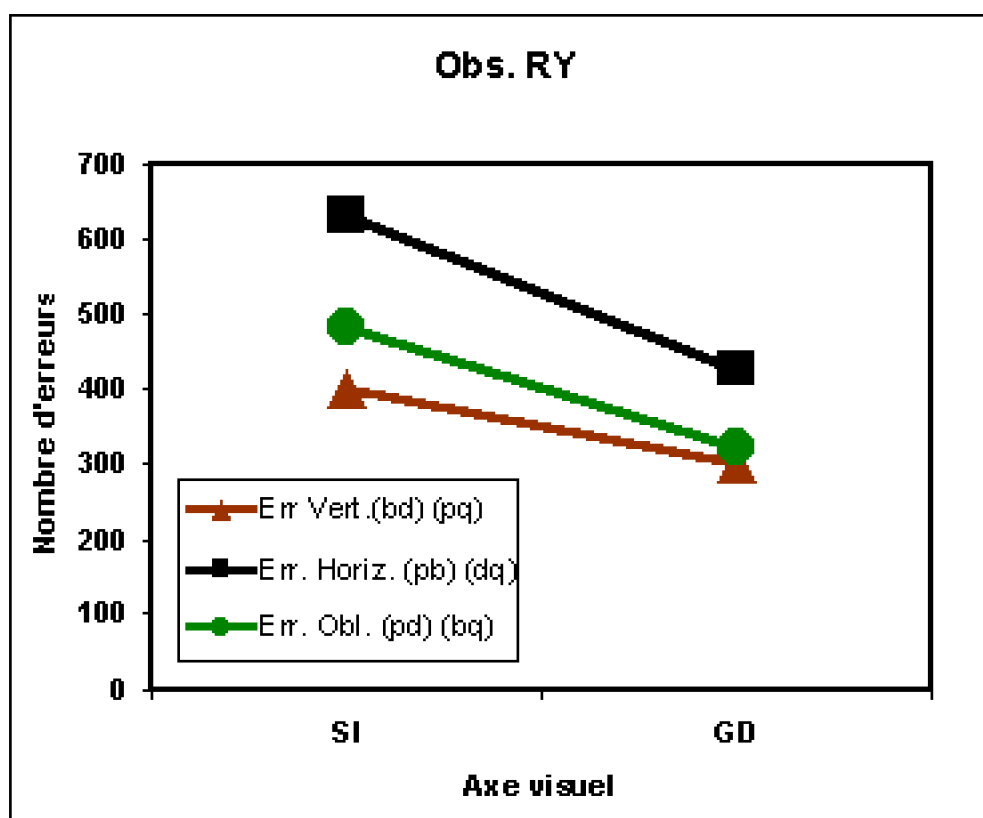
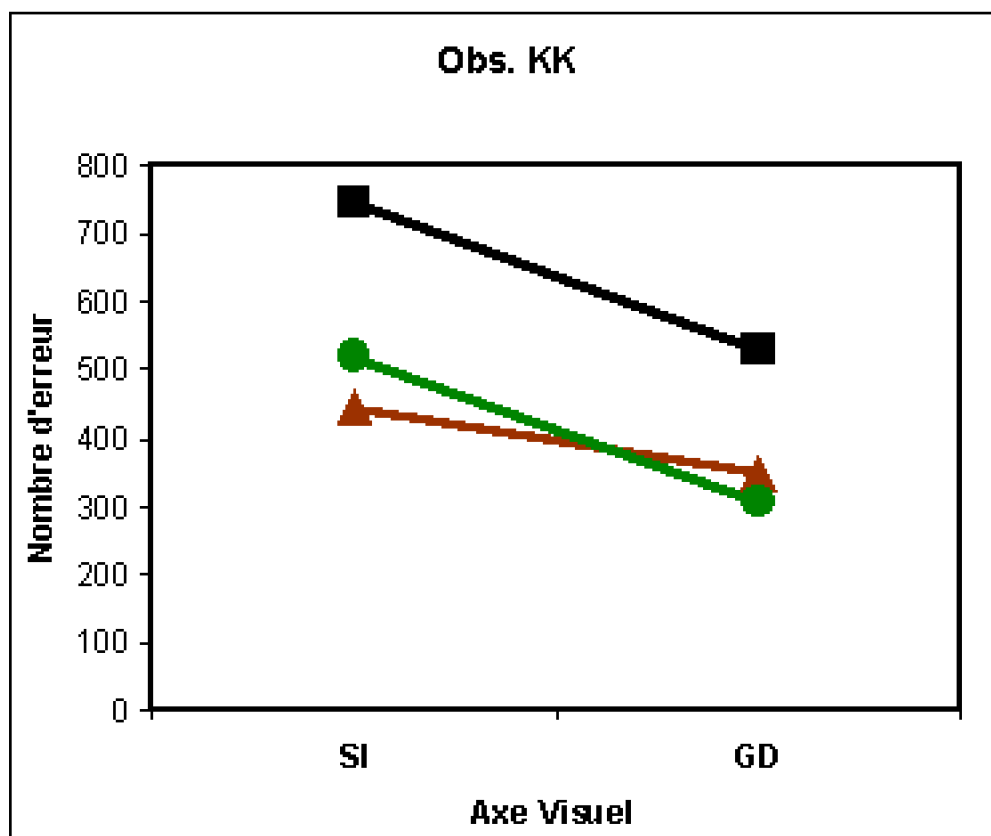


Figure 58. Représentation du nombre et types de confusions pour les deux axes du champ visuel : vertical (Supérieur et Inférieur) et horizontal (Gauche et Droit).



Afin de vérifier la significativité des différences observées, nous avons effectué une analyse ANOVA multinomiale ayant pour facteurs : Observateurs (RY, KK), Types d'erreurs (H, V, O) et Méridiens (vertical (SI) et horizontal (GD)).

Cette analyse a révélé que pour les deux observateurs, le nombre d'erreurs est significativement plus important sur le méridien vertical (SI) du champ visuel que sur le méridien horizontal (GD),  $\chi^2 = 7.697$ , ddl=2,  $P=0.021$ . Des analyses de contraste ont été effectuées afin d'étudier plus spécifiquement l'effet Type de confusion. Elles ont révélé que les observateurs commettaient plus de confusions de type horizontal qu'oblique ou vertical,  $\chi^2 = 194.779$ , ddl=2,  $P < 0.001$ .

Le nombre de confusions augmente ou baisse selon les méridiens du champ visuel, plus de différence entre la confusion H et V dans le champ visuel vertical (SI) que dans le champ visuel horizontal (GD). S'agit-il d'une interaction significative ?

L'analyse a également révélé que l'interaction entre Types d'erreurs (H, V & O) et Méridiens (SI & GD) est significative,  $\chi^2 = 7.697$ , ddl = 2,  $P = 0.021$ . Ceci indique que la position dans le champ visuel a un effet significatif sur le nombre de confusions pour les trois types de confusion. Cependant, la différence entre les confusions H et O selon les méridiens du champ visuel n'est pas significative,  $\chi^2 = 1.522$ , ddl = 2,  $P = 0.21$ .

La différence entre le nombre de confusions V d'un côté et les confusions H et O de l'autre selon les deux méridiens du champ visuel est significative,  $\chi^2 = 5.532$ , ddl=1,  $P=0.019$ . Ceci signifie que les confusions de type V baissent de façon significative sur le

---

méridien horizontal du champ visuel où sont réalisées les meilleures performances d'identification et donc le moins de confusion.

### 3. Conclusion

#### 3.1. MÉRIDIAN VERTICAL VERSUS HORIZONTAL

Les confusions de lettres symétriques en miroir sont de manière générale plus nombreuses sur le méridien vertical du champ visuel que sur le méridien horizontal. Ceci serait en partie une conséquence de la densité des cônes à travers la rétine. En effet, en partant de la fovéa vers la périphérie, la densité des cônes chute de façon plus rapide sur le méridien vertical que sur le méridien horizontal (Curcio et al., 1987). Cette différence de densité a un effet sur l'acuité visuelle. En 1928, Weymouth, Hines, Acres et Raaf, ont observé que l'acuité visuelle baissait plus rapidement sur le méridien vertical que sur le méridien horizontal. Une expérience a montré aussi la supériorité du méridien horizontal par rapport au méridien vertical dans la lecture des mots en caractères Japonais (Hiragana) (Kajii & Osaka, 2000).

Le plus grand nombre de confusions sur l'axe vertical confirme aussi les données citées dans la section " *Valeur du  $E_2$  pour chacun des axes, Chapitre 2 partie III*". En effet, le  $E_2$  d'identification de lettres symétriques (l'excentricité à laquelle les performances baissent de moitié) est plus élevé pour l'axe horizontal (4.45) que pour l'axe vertical (2.59) pour l'observateur RY, la différence est plus légère pour l'observateur KK. Pour les deux observateurs, les performances d'identification baissent plus rapidement sur le méridien vertical que sur le méridien horizontal. Ces résultats sont cohérents avec ceux observés par Toet & Levi (1992) qui ont proposé que l'interaction spatiale ou l'effet de groupement est plus important dans le méridien vertical que dans le méridien horizontal.

Ces différents facteurs (densité des cônes, acuité visuelle) sont en faveur d'une anisotropie du champ visuel périphérique. Ainsi, les seuils de discrimination des stimuli ne sont pas identiques lorsque l'excentricité en degré qui correspond à une excentricité réelle est respectée dans les différentes positions du champ visuel (cf. figure 59). C'est pourquoi nous proposons que la sensibilité du champ visuel est répartie selon une ellipse de grand axe horizontal (cf. figure 59).

Afin d'avoir les même performances, il nous faut présenter les stimuli à des excentricités plus proches lorsqu'ils sont présentés sur le méridien vertical (i.e., position supérieure ou inférieure) que lorsqu'ils sont présentés sur le méridien horizontal (i.e., gauche ou droite). Ainsi, on pourrait proposer une excentricité **isoperformante** ou **excentricité équivalente**, une excentricité permettant la réalisation des mêmes seuils d'identification.

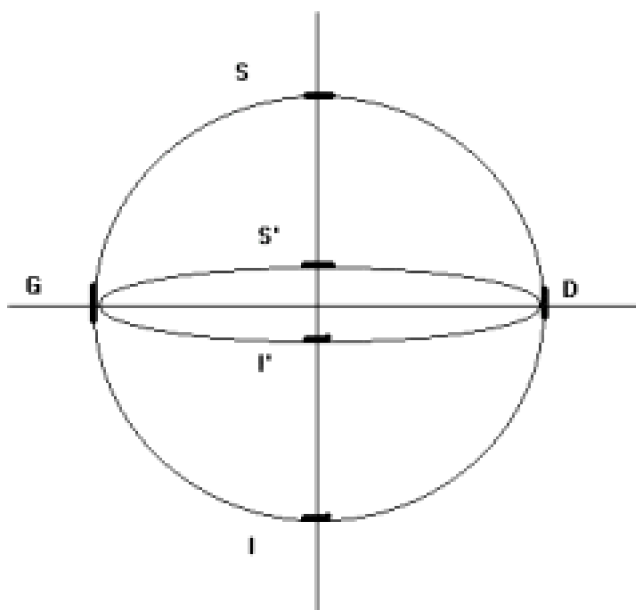


Figure 59. Le cercle montre une présentation isotrope ayant le même degré d'excentricité pour les quatre présentations dans le champ visuel : Gauche, Droit, Supérieur et Inférieur (G, D, S et I, respectivement). S' et I' sont la présentation supérieure et inférieure, respectivement, permettant d'obtenir le même niveau de performances que si les stimuli étaient présentés dans les zones G et D. L'ellipse est la présentation suggérée afin de rendre égales les performances sur les deux axes du champ visuel ; c'est-à-dire une présentation de stimuli plus proche de la fovéa sur l'axe vertical que sur l'axe horizontal (anisotropie).

Comme le montre la figure 59, les stimuli présentés en haut (S) et en bas (I) du champ visuel sont situés trop loin par rapport aux stimuli latéraux gauche/droite (G D). Donc pour rendre équivalentes les performances sur les deux méridiens il faut présenter les stimuli dans S' et I' au lieu de S et I, ce qui équivaut à rapprocher les stimuli de la partie centrale du champ visuel. A noter que le dessin est une représentation schématique à des fins explicatives.

### **3.2. TYPE D'ERREURS ET PERFORMANCES À TRAVERS LE CHAMP VISUEL**

Les résultats de notre analyse montrent que les performances sont meilleures pour les stimuli inversés de façon **tangentielle** (équivalente à la réflexion verticale dans la position gauche et droite dans le champ visuel) que pour les stimuli présentés de façon **radiale** (équivalente à la réflexion horizontale dans la position supérieure et inférieure). En effet, on observe un changement significatif de la pente des confusions de type V en passant du méridien visuel vertical au méridien horizontal (cf. figure 58). Cette augmentation des erreurs V indique une difficulté à traiter les orientations radiales (cf. figure 59) et est cohérente avec les résultats de Yap et al. .

Le résultat surprenant de cette analyse est que le  $E_2$  nécessaire pour égaliser les



---

lettres de notre première étude était un  $E_2$  d'une tâche de résolution spatiale, par contre le type d'erreurs de l'analyse actuelle est celui des tâches de l'acuité de positionnement. Ainsi, nous suggérons que notre tâche est une tâche hybride qui contient certaine caractéristique des tâches de positionnement (confusion de type radial) et certaine caractéristique des tâches de résolution spatiale ( $E_2$ ). Nous proposons que ni le  $E_2$ , ni le type d'erreur ne permettent de classer les tâches visuelles dans une catégorie donnée. Afin de classer les tâches visuelles il faut désormais prendre en considération d'autres paramètres tels que la forme du stimulus, le nombre de stimuli parmi lesquels l'observateur doit choisir et le mode de présentation (stimulus isolé ou par ensemble). Ces paramètres seront expliqués dans la conclusion générale de ce chapitre.

### **3.3. POURQUOI NOS RÉSULTATS SONT-ILS DIFFÉRENTS DE CEUX DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES ?**

Nos résultats montrent plus de confusions de type H que de confusions de type V. Ceci va à l'encontre de ce que prévoient les données de certaines études . Ces expériences ont été réalisées chez différents types de populations à savoir chez le pigeon, chez l'enfant et chez le singe, respectivement. On peut invoquer l'intervention d'un facteur cognitif de haut niveau, puisque dans les expériences précédentes les observateurs devaient reconnaître des formes illettrées tandis que dans notre expérience les observateurs devaient identifier des lettres alphabétiques très familières. En outre, dans ces expériences, les stimuli étaient présentés par paire de patterns simultanés à la différence de notre étude où chacune des lettres était présentée isolément. Ainsi, on peut suggérer une interaction entre les stimuli présentés simultanément menant à une confusion plus importante pour les stimuli inversés sur l'axe vertical que ceux inversés sur l'axe horizontal. Cette confusion s'inverse lorsque les stimuli symétriques sont présentés séparément, ce qui est le cas dans notre expérience.

Pourquoi les stimuli symétriques présentés latéralement provoquent-ils moins de confusion que les stimuli présentés verticalement ? Il est possible que la baisse d'acuité sur le méridien vertical a pour conséquence que les deuxièmes stimuli soient moins perçus et donc interfèrent moins avec la cible et créent moins de confusion.

## **IV. Expérience 3. La différence entre la détection et l'identification est-elle due à l'échantillonnage spatial ?**

---

### **1. Introduction**

L'analyse des seuils de contraste dans l'expérience 1 a montré que la tâche de détection suivait une progression plutôt linéaire en fonction des tailles des lettres étudiées, tandis que la tâche d'identification suivait une progression quadratique (cf. figure 41). Il est possible que la différence entre ces deux tâches soit liée à l'échantillonnage spatial des photorécepteurs (cf. Distribution des cônes, chapitre 1 Partie II). On observe aussi une différence plus importante entre les deux tâches dans la gamme des petites tailles que dans la gamme des grandes tailles où les seuils des deux tâches ont tendance à se

rejoindre.

Dans nos deux précédentes expériences, nous avons testé des tailles à la limite de l'acuité visuelle. L'utilisation d'un modèle d'observateur idéal permettra d'analyser les éléments essentiels de la détection et de l'identification et permettra, ainsi, d'explorer les performances optimales.

La **première hypothèse** est que si la différence entre la progression de la détection et celle de l'identification en fonction des tailles est due à la densité et à l'échantillonnage des photorécepteurs, alors l'utilisation des tailles minimales révélera une différence systématique entre les seuils de contraste des deux tâches. Les seuils de la tâche d'identification continueront à augmenter tandis que ceux de la tâche de détection seront linéaires.

L'observateur idéal est un programme qui exécute des tâches selon un programme informatique. Comme son nom l'indique, il s'agit d'un observateur qui donne la réponse la plus parfaite. Puisque l'observateur idéal a une sensibilité supérieure à celle de l'observateur humain, Geisler (1989) a proposé de réduire sa sensibilité afin de la rendre comparable à celle de l'observateur humain. Ainsi, notre modèle de l'observateur idéal sera limité par le **bruit**. Nous avons généré deux types de bruit, l'un concerne la position de la lettre. Pour ce faire, nous avons généré quatre matrices de  $128 * 128$  pixels dans lesquelles l'observateur idéal doit choisir la position de la lettre. Le deuxième bruit concerne l'identification. Pour ce faire, les quatre matrices avaient des pixels actifs ayant une valeur 1 et des pixels inactifs qui avaient une valeur 0. Ces pixels actifs ou inactifs étaient distribués aléatoirement sur l'ensemble de la matrice. Afin de décider de l'identité de la lettre, l'observateur idéal doit effectuer le produit scalaire (la somme de la multiplication point par point) entre le vecteur du prototype et le vecteur de la matrice. L'observateur idéal avait seize possibilités de réponses (quatre positions fois quatre lettres) (cf. tableau 17).

La règle de décision est importante dans les tâches de détection et d'identification. Nous avons utilisé deux règles de décision, une conditionnelle (RC) et l'autre inconditionnelle (RI). L'observateur idéal a seize réponses possibles (quatre lettres fois quatre positions). Le tableau 17 donne ces seize réponses possibles. Afin d'expliquer la logique des deux règles de décision voici un exemple. Si dans le tableau 17 on attribue les valeurs suivantes à la ligne S : [0.3, 0.4, 0.25, 0.3] et les valeurs suivantes à la ligne I [0.1 0.75 0.12, 0.06]. Si l'observateur idéal décide selon une règle RI, alors il donnera comme réponse la cellule qui a la valeur 0.75 dans la ligne I, puisque c'est la cellule la plus active. En revanche, s'il utilise la RC dans laquelle il additionne toutes les cellules pour chacune des lignes, alors il donnera comme réponse la cellule 0.4 dans la ligne S. En additionnant toutes les valeurs de la ligne S on obtient une valeur de 1.25 supérieure à celle de la ligne I qui égale 1.03. Et selon la règle RC, l'observateur idéal choisit la valeur la plus élevée qui est dans la ligne S (0.4).

Ainsi, la **deuxième hypothèse** à vérifier est que si la règle de décision a un impact sur la différence entre les deux tâches, alors les seuils de contraste évolueront différemment selon qu'il s'agit de RI ou de RC.

## 2. Méthode

### 2.1. STIMULUS

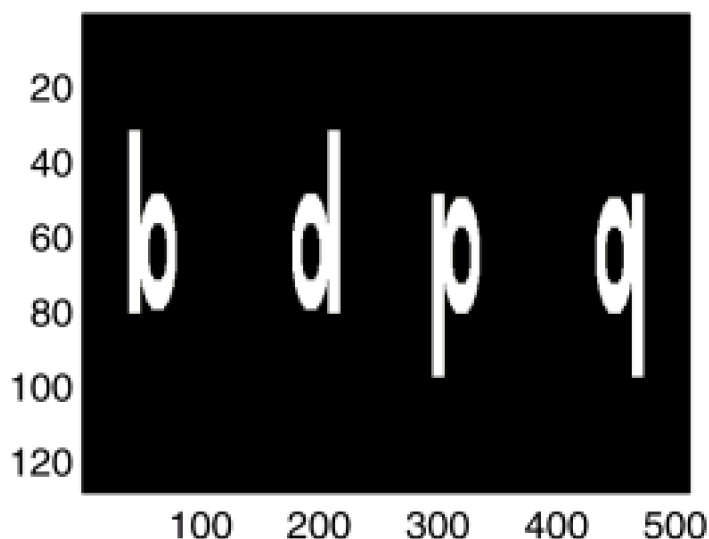


Figure 60. Représentation de la structure des lettres utilisées dans la détection et l'identification effectuées par l'observateur idéal. Une matrice de 128 pixels fois 128 pixels (un contraste maximal). Dans cet exemple, la hauteur de chacune des lettres est de 48 pixels.

L'une des quatre lettres de taille fixe apparaît sur une matrice d'une dimension de 128 fois 128 pixels. Le contraste de la lettre est fixé pour qu'il permette un niveau de performances qui varie entre un niveau de chance (25%) et un niveau maximal de 100%. Chaque taille était testée à six niveaux de contraste. Chaque session était composée de 160 essais.

Afin de simuler la tâche de détection, quatre matrices de même niveau de bruit sont générées dont une contient la cible. Chacune des quatre matrices était comparée aux quatre prototypes stockés en mémoire par l'observateur idéal. Ainsi, le nombre de réponses possibles est seize : quatre positions fois quatre lettres.

### 2.2. PROCÉDURE

Le programme, exécuté sur le logiciel Matlab, génère des lettres symétriques en miroir (b, d, p, q) dans un bruit. L'observateur idéal compare le stimulus à une série de prototypes. Le prototype qui se rapproche le plus du signal bruité détermine la réponse de l'observateur idéal (cf. tableau 17).

**Tableau 17.** Les seize réponses possibles. La première ligne du tableau représente les lettres à identifier. La première colonne représente les quatre positions de la lettre dans le champ visuel (S : supérieure, I : inférieure, G : gauche et D : droite).

	Lettres			
Position	b	d	p	q
S	Sb	Sd	Sp	Sq
I	Ib	Id	Ip	Iq
G	Gb	Gd	Gp	Gq
D	Db	Dd	Dp	Dq

### 3. Résultats

Les performances de bonnes réponses de l'observateur idéal ont été ajustées par la fonction de Weibull décrite dans l'expérience 1 (équation 10). Le seuil est le niveau de contraste où les performances atteignent 72% de bonnes réponses. Le contraste des lettres produit deux fonctions psychométriques pour les deux tâches allant d'un niveau chance de 0.25 à un niveau maximal de 1 (cf. figure 61). Chaque point dans la fonction psychométrique représente 160 essais.

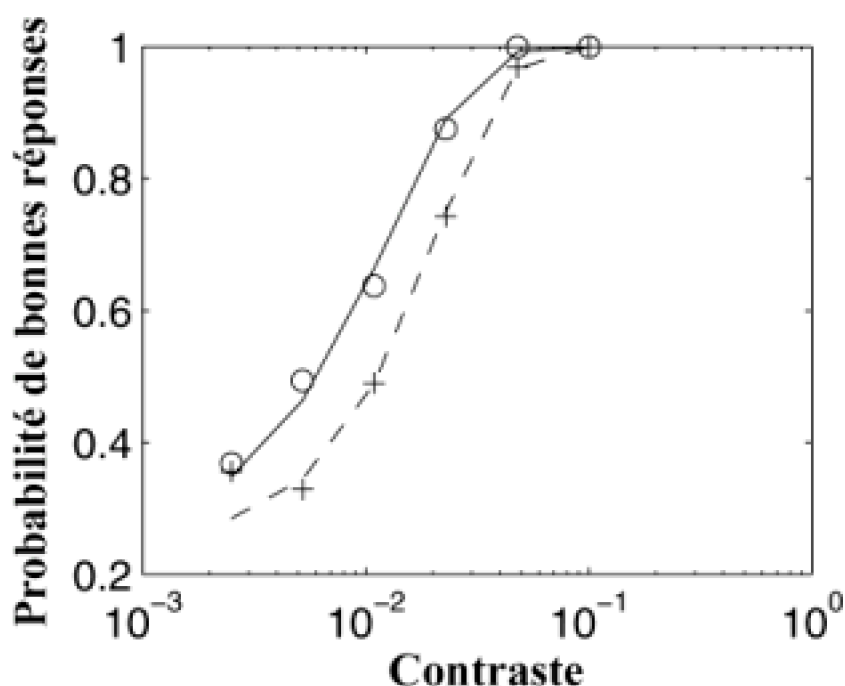


Figure 61. Représentation des pourcentages de bonnes réponses de l'observateur idéal en fonction du contraste d'une lettre de 8 pixels de hauteur. Les symboles représentent les réponses de l'observateur idéal (cercles : détection, croix : identification). Les courbes représentent l'ajustement effectué à partir de la fonction de Weibull pour la tâche de détection (ligne continue) et la tâche d'identification (ligne discontinue).

#### 3.1. ANALYSE DES SEUILS DE CONTRASTE

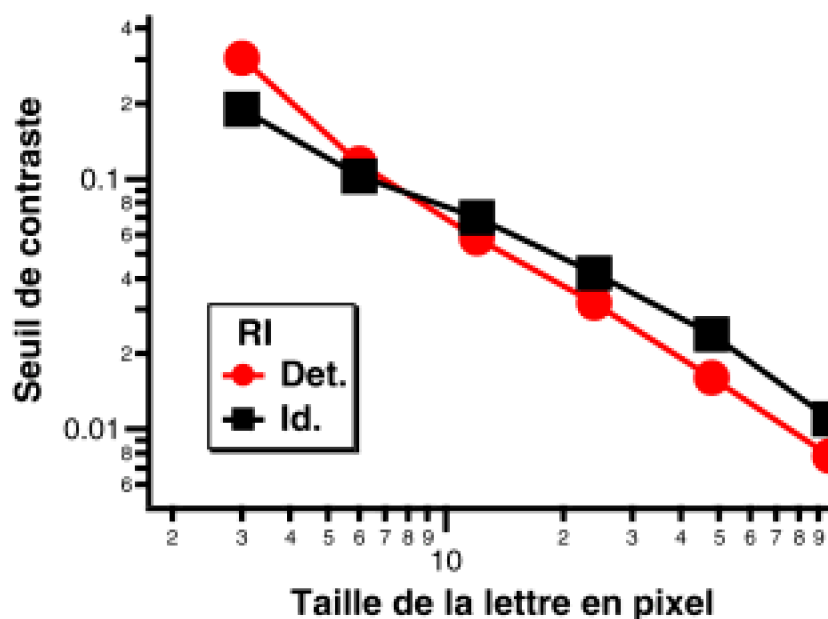


Figure 62. Représentation des log. des seuils de contraste permettant de détecter la position de la lettre (cercles rouge) ou de l'identifier (carrés noirs) en fonction des tailles des lettres. Les deux tâches se développent de la même façon en fonction des tailles.

Les seuils de contraste progressent de la même façon pour les deux tâches et n'indiquent pas de différence. Les seuils de la figure 62 proviennent de la règle inconditionnelle.

Les seuils des deux tâches diminuent en fonction des grandes tailles. La tâche d'identification nécessite un peu plus de contraste que la tâche de détection. Aucune des deux tâches ne montre une évolution quadratique.

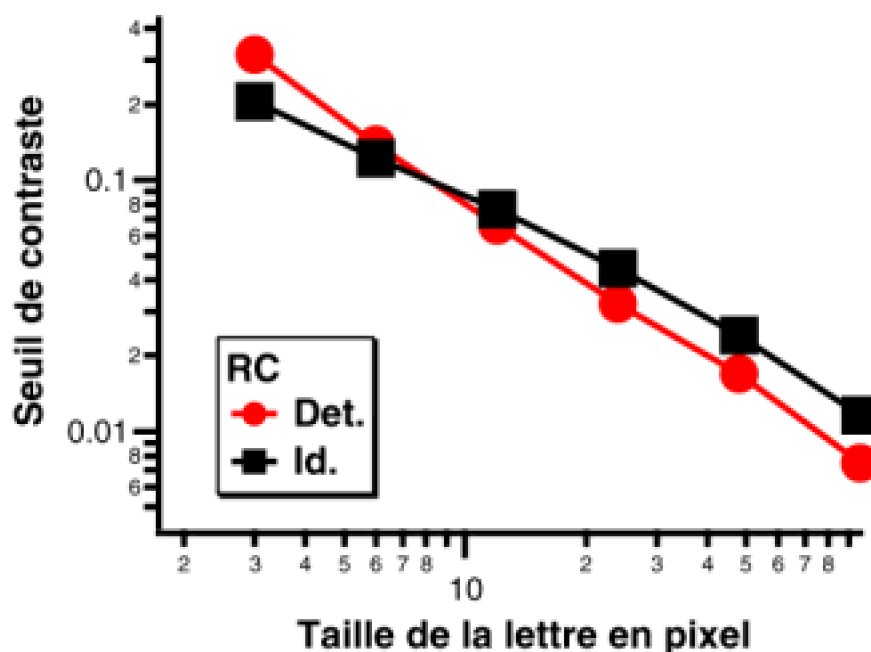


Figure 63. Représentation des seuils de contraste pour la détection et l'identification selon la règle conditionnelle.

La figure 63 représente les seuils provenant de la règle RC. L'évolution des deux tâches est pratiquement identique en fonction des tailles.

#### 4. Conclusion

Le nombre de photorécepteurs traitant le stimulus n'a pas d'impact sur l'évolution des deux tâches. L'évolution du seuil en fonction des petites tailles est similaire pour les deux tâches : identification et détection. La différence observée par Farrel et Desmarais (1990) et aussi par Strasburger et al. (1991) entre les deux tâches, ne peut être expliquée par des facteurs de densité des photorécepteurs.

La règle de décision n'a pas d'impact sur l'évolution des deux tâches. Les deux règles, RI et RC ne changent pas l'évolution des seuils de la détection et de l'identification en fonction des tailles. Donc notre utilisation d'une règle conditionnelle ne peut pas expliquer la différence entre nos résultats et ceux obtenus dans les expériences suggérant qu'un facteur d'agrandissement plus important est nécessaire pour une tâche de discrimination de position.

### V. Conclusion générale concernant la détection et l'identification à travers le champ visuel

Notre premier objectif était de généraliser les résultats de Higgins et al. (1996) sur d'autres lettres symétriques en miroir dans des conditions expérimentales mieux

contrôlées. Pour ce faire, nous avons étudié une gamme de quatre lettres (b, d, p et q) présentées à trois excentricités. Nos résultats ont montré que les deux tâches évoluent selon un facteur d'échelle. La fonction de détection ainsi que celle d'identification ont la même forme à travers les différentes excentricités hormis une translation horizontale sur l'axe des tailles. Ainsi, on peut conclure que la différence entre les tâches de détection et d'identification de lettres symétriques en fonction des excentricités est une différence **quantitative**.

Notre deuxième objectif était d'appliquer la méthode de Watson (1987) afin de calculer les valeurs de facteur de mise à l'échelle en nous basant sur les performances réalisées par chacun des observateurs. Les valeurs des facteurs de mise à l'échelle montrent que les deux tâches évoluent selon un facteur de mise à l'échelle identique pour les excentricités 2° et 4°. A une excentricité de 8°, ce facteur est légèrement supérieur pour la tâche de détection que pour la tâche d'identification. Afin de vérifier ce résultat surprenant nous avons calculé la valeur du  $E_2$  qui est un indice de l'évolution des tâches visuelles en fonction de la périphérie. Ces valeurs montrent que les deux tâches se dégradent de la même manière dans la périphérie du champ visuel. Ce résultat rejoint un corps de données obtenu dans un certain nombre d'études précédentes montrant qu'un même facteur de mise à l'échelle permettait d'égaliser les performances dans la tâche de détection et d'identification à travers différentes excentricités. Cependant, il va à l'encontre d'un certain nombre de résultats obtenus dans d'autres études montrant que le facteur de mise à l'échelle de la tâche d'identification est supérieur à celui nécessaire pour la tâche de détection.

### Champ visuel

L'analyse de confusion a révélé un champ visuel anisotrope. En effet, les confusions étaient plus nombreuses sur l'axe visuel vertical que sur l'axe horizontal. Ainsi, nous proposons la formule suivante :

$$E_V = E_H - x$$

où  $E_V$  est l'excentricité sur le méridien vertical,  $E_H$  est l'excentricité sur le méridien horizontal et  $x$  est la différence entre S et S' dans le schéma illustré dans la figure 59.

Les résultats de notre étude montrent aussi que la vision périphérique se caractérise par une difficulté à traiter les orientations radiales (e.g. la paire b d est mieux discriminée dans la partie supérieure du champ visuel que dans la partie temporale). Ce résultat est cohérent avec celui observé par Yap et al. (1987) dans une tâche de discrimination de position (bisection de deux points).

### Modèle de désordre topographique ou sous-échantillonnage spatial ?

Deux modèles tentent d'expliquer la baisse des performances en vision périphérique. Le premier propose que la différence entre la vision centrale et la vision périphérique peut être expliquée par une différence d'échantillonnage spatiale (Levi & Klein, 1986). Ainsi, la vision périphérique serait contrainte par un sous-échantillonnage des unités réceptrices, photorécepteurs ou cellules du cortex visuel. Le deuxième modèle explique la différence

entre les deux visions par un désordre topographique de plus en plus important en fonction de l'excentricité (Hess & Field, 1993). D'après ces auteurs la vision périphérique est plus propice aux erreurs de discrimination de position à cause d'un manque de calibrage des ensembles de cellules couvrant une même portion du champ visuel (Field & Hess, 1996 ; Hess & Field, 1993, 1994). Nos résultats montrent que lorsque la différence entre les stimuli réside en un simple positionnement entre les éléments du stimulus (i.e., la barre et le cercle) l'identification ne baisse pas plus rapidement que la détection. Cependant, lorsque les stimuli sont différents par leur représentation spectrale (les différents chiffres de 0 à 9) , alors la différence est plus systématique entre l'identification et la détection. Nous avons analysé les probabilités de bonnes réponses d'un observateur idéal sur des petites tailles. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les deux tâches évoluent de la même manière et que la résolution ou l'échantillonnage spatial n'explique pas la différence entre l'identification et la détection. Ainsi, nos résultats suggèrent que la vision périphérique est contrainte par un **désordre topographique**.

### **Pourquoi les résultats de notre étude sont-ils différents de ceux des études précédentes ?**

La différence entre les résultats obtenus dans notre étude et ceux obtenus dans des études précédentes ne peut s'expliquer ni par la technique de l'expérience (niveau de contraste bas et variable), ni par les portions du champ visuel étudiées, ni par le mode de présentation, ni par le choix des tailles de notre étude. En effet, l'analyse de nos résultats en fonction d'un niveau de contraste fixe (bas et haut), en fonction du même mode de présentation que l'étude de Saarinen et al. (1989), en fonction des deux axes visuels : vertical et horizontal n'a montré aucun changement systématique. Ainsi, nous proposons que les différences entre nos résultats et ceux obtenus dans les autres études sont dues aux facteurs suivants.

### **1- STIMULI : LETTRES SYMÉTRIQUES EN MIROIR VS. CHIFFRES ARABES**

Strasburger et al. (1994) ont étudié l'identification d'une gamme de dix chiffres (de 0 à 9) présentés à plusieurs excentricités allant de la fovéa à une excentricité de 38°. Ils ont observé que l'agrandissement selon la formule proposée par Rovamo et Virsu (1979) ne permettait pas d'égaliser les performances à travers les excentricités lorsque les stimuli étaient de bas contraste. Cependant, lorsque les stimuli étaient présentés à un haut contraste cette même formule permettait d'égaliser la tâche d'identification à travers le champ visuel. En effet, à un niveau de bas contraste, le processus d'identification ou de reconnaissance nécessite l'agrandissement d'autres dimensions du stimulus telle que la dimension du **contraste**. A un niveau de haut contraste, un agrandissement dans le domaine spatial est suffisant pour atteindre une invariance des performances d'identification de chiffres de la fovéa à l'excentricité de 34°.

Les résultats de Farrel et Desmarais ont montré un  $E_2$  de 0.25° pour l'identification de chiffres arabes. Dans notre étude, le  $E_2$  d'identification de lettres symétriques en miroir était de 3.36° pour le sujet KK et de 2.82° pour le sujet RY. En moyenne le  $E_2$  était de 6 fois supérieur à celui de l'étude de Farrel et Desmarais. Ceci signifie que l'identification de



chiffres arabes baisse 6 fois plus rapidement en périphérie du champ visuel que l'identification de lettres symétriques en miroir. Il est possible que la reconnaissance de chiffres soit plus difficile à traiter que la reconnaissance de lettres ne différant que par une inversion en miroir horizontale ou verticale. Ceci suggérerait un traitement perceptif différent pour une forme géométrique simple et un motif complexe. Ainsi, nous rejoignons les conclusions de Watanabe (1985) qui sont que la reconnaissance de stimuli complexes nécessite la combinaison de plusieurs caractéristiques du stimulus.

## **2- ANTICIPATION DE L'OBSERVATEUR**

Il est à signaler que dans notre expérience l'attente de l'observateur était moins bruitée que celle de l'expérience de Strasburger et al. (1994), puisque dans notre étude l'observateur devait choisir une réponse parmi quatre alors que dans l'étude de Strasburger et al. (1994) l'observateur devait choisir une réponse parmi un ensemble de 10.

## **3- EXCENTRICITÉ ET EXCENTRICITÉ PLUS PLUS**

Strasburger et al. (1994) ont trouvé que pour une marge allant d'un bas contraste de 6% à un haut contraste de 40% l'identification des chiffres suivait le même facteur d'agrandissement que celui proposé par Virsu et Rovamo jusqu'à une excentricité de 6°. Au delà de cette excentricité, le facteur de mise à l'échelle était plus important que celui proposé par Virsu et Rovamo. La différence entre les résultats de Strasburger et al. (1991, 1994) et ceux de notre étude peut résulter du fait que notre étude a été réalisée dans une marge de 2 à 8° d'excentricité où la différence entre détection et identification est très faible. Ceci signifie que lorsque ces deux tâches visuelles sont étudiées à une excentricité inférieure à 8°, elles évoluent au même rythme et nécessitent un même facteur d'agrandissement.

## **4- SOUS-CATÉGORIES DE TÂCHES D'IDENTIFICATION**

La combinaison des résultats obtenus dans notre étude et ceux obtenus dans les études précédentes permet d'étayer la suggestion de sous-catégories dans la tâche d'identification :

Une première sous-catégorie regroupant les tâches telle que l'identification de lettres ne différant que par un seul trait (l'emplacement de la barre par rapport au cercle dans la présente étude) dont le  $E_2$  est élevé. Ceci signifie que les performances baissent lentement en fonction de l'excentricité et donc nécessitent un facteur de mise à l'échelle relativement bas, basé sur la densité de photorécepteurs rétiniens.

Une deuxième sous-catégorie regroupant des tâches telle que la reconnaissance de motifs différant par plusieurs traits à la fois : phase, amplitude spectrale et forme (e.g. l'ensemble des chiffres arabes) dont le  $E_2$  est très bas. C'est-à-dire que les performances dans ces tâches baissent très rapidement en fonction de l'excentricité et nécessitent un grand facteur de mise à l'échelle.

### **5- MOTIFS SYMÉTRIQUES**

La différence entre nos résultats et ceux observés par Saarinen et al. (1989) peut provenir de la différence entre la forme des stimuli. En effet, ces auteurs ont utilisé des motifs symétriques présentés simultanément par paires. L'observateur devait juger si les deux formes étaient similaires ou différentes (inversées en miroir). Le facteur d'agrandissement de Virsu et Rovamo n'a pas permis d'égaliser les performances de détection de la symétrie à travers la périphérie. La détection de la symétrie en miroir implique une comparaison complexe entre les éléments des deux moitiés d'un pattern (Bruce & Morgan, 1975). Nous proposons que l'encodage de cette information de position soit plus difficile dans la partie périphérique du champ visuel (Saarinen, 1988). De plus, la présentation de deux stimuli dans l'étude de Saarinen et al. (1989) nécessitait une allocation de ressources attentionnelles plus importante.

### **6- INDICE DE DISCRIMINATION**

Nous proposons l'existence d'un indice de discrimination relatif à la structure du stimulus. Un observateur qui anticipe l'identification de la même lettre différant par la phase (une barre en haut à droite d'un cercle constitue la lettre **d**. Une barre en bas à gauche d'un cercle constitue la lettre **p** etc.) a moins d'indices de discrimination à gérer. En effet, il peut prendre pour repère uniquement la position de la barre par rapport au cercle. A l'inverse, un observateur qui anticipe une multitude de motifs comme dans le cas de dix chiffres (de 0 à 9), a plus de difficulté à se fier à un seul repère. Le chiffre 1 est plus proche du chiffre 7 et plus différent du chiffre 3. Ainsi, les indices de discrimination sont plus nombreux et le risque de confusion est plus important.

Nos résultats proposent la possibilité d'une modélisation de la vision périphérique selon un filtre variable en fonction de l'excentricité lorsque la cible est présentée isolément et que la différence entre les cibles à identifier se limite à une seule caractéristique (telle que la phase dans le cas de notre expérience). Ainsi, l'impossibilité de la modélisation de la perception des scènes naturelles observée par Séré et al. (2000) peut être due au fait que la cible est présentée dans un environnement chargé et que la différence entre les cibles à distinguer ne se limite pas à une seule caractéristique.

*En résumé :*

Le facteur de mise à l'échelle ne peut désormais plus dépendre de la tâche seule mais doit dépendre de trois facteurs aussi décisifs les uns que les autres :

- la tâche,
- le stimulus
- Le facteur du  $E_2$ . Généralement l'agrandissement des stimuli s'effectue selon la formule suivante :

$$F=1+E/E_2 \quad (15)$$

où le  $E$  est l'excentricité à laquelle on présente les stimuli et le  $E_2$  est l'excentricité où les performances baissent de moitié. Dans le cas où un  $E_2$  standard est utilisé, il y a un

risque de biaiser les résultats puisque deux sujets nécessitent deux  $E_2$  différents. Dans une étude récente, Melmoth, Kukkonen, Mäkelä & Rovamo (2000) ont trouvé un  $E_2$  de  $6.38^\circ$  pour l'observateur DM et un  $E_2$  plus petit de  $3.60^\circ$  pour l'observateur UP. La différence entre les deux  $E_2$  est un facteur de 2 environ. Dans une autre étude, Whitaker et al. (1992) ont trouvé une différence interindividuelle d'un facteur de 3.

Ainsi, nous proposons d'utiliser un  **$E_2$  personnalisé** correspondant à l'excentricité où les performances de l'observateur baissent de moitié.

## Chapitre 3. phénomène de Groupement

### Introduction

La première raison qui justifie l'étude du phénomène de groupement est qu'il nous renseigne sur les mécanismes sous-tendant la vision périphérique comparée à la vision fovéale. L'effet de groupement manifeste une différence quantitative entre ces deux visions. Il s'étend sur une distance de 3 à 6 min. d'arc en vision fovéale et sur une distance bien plus large équivalente à 0.5 fois l'excentricité à laquelle le stimulus est présenté. Ce grand effet de groupement en vision périphérique est observé même après une mise à l'échelle du stimulus.

Lorsque la cible est entourée par des éléments avoisinants, l'acuité visuelle baisse par un facteur de 1.14 en fovéa (Leat et al., 1999) tandis qu'en périphérie elle baisse par un facteur de 4.2 .

Une différence qualitative entre vision fovéale vs. vision périphérique réside dans l'impact de la structure du stimulus. En effet, le C de Landolt entouré par des barres provoque un effet de groupement aussi bien en vision fovéale qu'en vision périphérique , tandis que la lettre E entourée par des barres provoque un effet de groupement en périphérie mais pas en fovéa .

La deuxième raison qui justifie l'importance de la compréhension de l'effet de groupement est qu'il provoque des déficits sévères de la lecture chez les patients atteints de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) (Legge, Rubin & Pelli, 1985; Legge, Isenberg & LaMay, 1992). La DMLA est un trouble qui provoque une perte irréversible de la vision centrale et oblige les patients à utiliser leur vision périphérique. Cette pathologie concerne 1 million de personnes en France. Ainsi, il est important de mesurer l'effet de groupement en périphérie pour tenter de le diminuer et de contribuer pratiquement à permettre aux patients d'accéder de nouveau à la lecture.

Des recherches précédentes se sont intéressées à l'impact de la similarité entre la cible et les flancs sur l'effet de groupement et plus particulièrement à l'impact de la **similarité** de l'orientation (Andriessen & Bouma, 1976), de la taille (Loomis, 1978; Nazir, 1991) et de la forme de la cible et des flancs du pourtour . Ces recherches ont révélé que l'effet de groupement dépend non seulement de la **distance** séparant la cible des stimuli

avoisinants mais aussi du **degré de similarité** entre la cible et les stimuli l'entourant. Kooi, Toet, Tripathy & Levi (1994) ont mesuré l'impact de la similarité entre la cible T et le pourtour de même forme concernant les caractéristiques suivantes : contraste, forme, polarité et orientation sur l'identification de l'orientation de la lettre 'T' (haute, basse, droite, gauche). Dans leur étude, la structure du stimulus permettait la manipulation globale de la lettre mais pas la manipulation locale des traits de la lettre.

Afin de contrôler les caractéristiques locales de l'orientation et des FS, certains auteurs ont utilisé des segments de type gabor. Dans certaines de ces études la tâche consistait à estimer le contraste du segment placé entre deux autres de même structure (Cannon & Fullenkamp, 1991a; 1996). Dans une autre étude l'observateur avait pour tâche de détecter la présence ou l'absence du segment (Polat & Sagi, 1994).

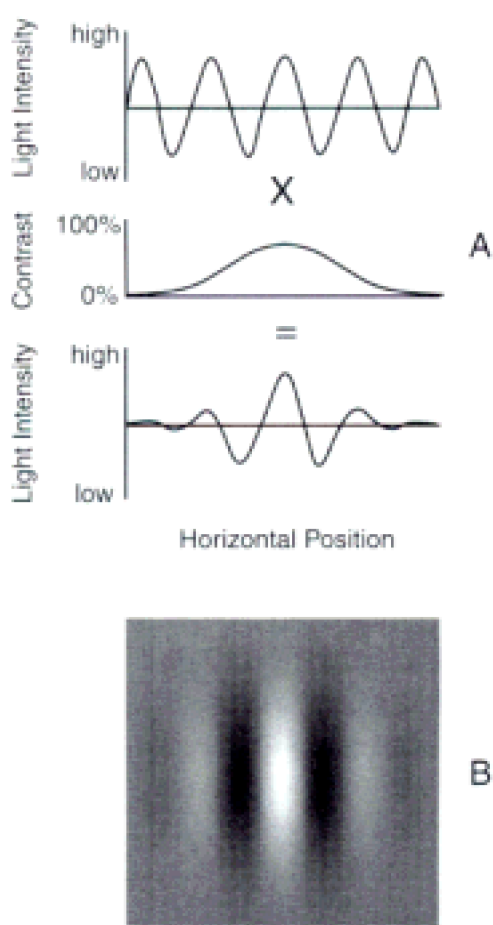


Figure 64. Représentation d'une luminance distribuée selon une fonction gabor. La partie A de la figure représente la distribution sinusoïdale en haut et la distribution gaussienne au milieu. La multiplication des deux distributions engendre une distribution de type gabor. La partie B représente une distribution de la luminance selon une fonction gabor horizontale.

---

Tirée de Palmer (1999)

La nouveauté dans notre expérience consiste à étudier l'identification de l'orientation d'une lettre entourée par des barres, l'ensemble du stimulus étant structuré de segments gabor (sinus fois gaussienne). La structure des stimuli localisés de bandes limitées (segments gabor) permet d'effectuer un compromis entre la localisation dans l'espace et aussi la localisation dans le domaine des fréquences spatiales (cf. figure 64). Il s'agit d'un stimulus qui permet un meilleur contrôle des canaux visuels activés puisqu'il n'incite qu'un nombre réduit des unités du système visuel à traiter l'information visuelle (Polat & Sagi, 1993).

Cette structure de stimulus nous permettra d'étudier l'interaction entre les canaux visuels sensibles à différentes gammes de FS (Campbell & Robson, 1968; Graham & Nachmias, 1971; Graham & Robson, 1987; Sachs, Nachmias, & Robson, 1971; Sagi & Hochstein, 1983; Tolhurst & Barfield, 1978; Watson, 1982) et différentes orientations (Kulikowski, Abadi, & King-Smith, 1973). Lorsque ces canaux reçoivent des entrées différentes, ils les détectent indépendamment. Ceci signifie que l'activité d'un canal n'influencera pas un autre canal répondant à une gamme de FS ou d'orientations différentes. Ces canaux ne sont pas totalement indépendants puisqu'ils reçoivent des entrées inhibitrices des canaux qui codent des FS ou orientations avoisinantes. Toutefois, ces interactions sont spécifiques aux canaux ayant des champs visuels qui se chevauchent.

Les expériences sur l'effet de groupement présentées dans ce chapitre ont pour premier objectif de **quantifier l'ampleur de l'effet de groupement en périphérie de 10° dans le champ visuel inférieur**. Le deuxième objectif est de mesurer l'effet de groupement lorsque la cible et le pourtour sont structurés de segments gabor et ont les mêmes caractéristiques physiques (FS, orientation, contraste et nombre de segments). Le troisième objectif est de mesurer l'ampleur de l'effet de groupement lorsque la cible et le pourtour diffèrent par leurs FS et leur orientation. Le quatrième objectif est de mesurer l'impact du niveau de contraste des flancs du pourtour sur l'ampleur de l'effet de groupement.

## I. Expérience 4. Rôle de l'orientation dans l'effet de groupement.

---

### 1. Introduction

L'étude de l'étendue du groupement selon l'orientation du pourtour nous renseignera sur l'interaction de canaux visuels sélectifs à l'orientation. Les cellules du cortex visuel, du chat et du singe, répondent à des barres et à des bordures d'une gamme d'orientation très restreinte et elles répondent à une orientation optimale bien définie (Campbell, Cleland, Cooper & Enroth-Cugell, 1968; Hubel & Wiesel, 1962; Hubel & Wiesel, 1968; Schiller, Finlay & Volman, 1976).

Les canaux visuels sélectifs aux mêmes gammes d'orientations ne sont pas totalement indépendants et reçoivent des entrées inhibitrices de canaux qui codent des orientations avoisinantes. Différents auteurs ont suggéré que l'inhibition latérale entre les

cellules corticales qui détectent l'orientation (Blakemore & Tobin, 1972; Nelson & Frost, 1978; Sillito, 1979) forme les bases des interactions psychophysiques entre réseaux différant par leur orientation (Blakemore, Carpenter, & Georgeson, 1970; Carpenter & Blakemore, 1973; Thomas & Shimamura, 1975; Wallace, 1969). Sillito, Grieve, Jones, Cudeiro et Davis (1995) ont observé que certaines cellules du cortex visuel primaire ont un taux de décharge plus important lorsque la cible est présentée en même temps qu'une autre cible avoisinante dont l'orientation est différente. Par contre, lorsque les cibles avoisinantes sont présentées seules, elles ne provoquent aucune réponse au niveau de ces cellules. Ces dernières semblent être spécialisées dans la détection des discontinuités de l'orientation telles que les jonctions.

Dans une étude récente, Leat, Li & Epp (1999) ont observé que les flancs ou éléments du pourtour, lorsqu'ils sont présentés aléatoirement, provoquent un effet de groupement plus important que les mêmes flancs présentés dans la même configuration tout au long d'une même session (e.g. les brisures des flancs C sont toujours orientées à droite). Cet effet a été observé en vision périphérique de 5° mais pas en vision centrale. Ces auteurs expliquent ces résultats par le fait que les besoins attentionnels sont plus importants en vision périphérique qu'en vision centrale.

L'objectif de notre expérience est de mesurer l'effet de l'orientation sur l'étendue du groupement et donc sur l'interaction entre canaux sélectifs à l'orientation en vision périphérique. Grâce à la structure des segments gabor qui composent notre stimulus, il nous a été possible de mesurer l'étendue de l'effet de groupement en gardant constante l'orientation locale et globale des segments de la cible E et l'orientation globale du pourtour mais en variant l'orientation locale des composants du pourtour. Trois conditions (C) ont été étudiées, l'orientation de la cible et du pourtour : identique (CI), verticale (CV) ou mixte (CM). Dans cette dernière condition, 50% des composants étaient verticaux et 50% étaient horizontaux.

Nous avons testé trois hypothèses :

Si l'interaction entre canaux sélectifs à l'orientation dépend de la similarité entre la cible et les éléments du pourtour, alors dans CI l'effet de groupement devrait être maximal, et faible voire absent dans CV.

Dans la condition CM la moitié des canaux est activée et l'autre moitié est inhibée. Ainsi, nous formulons l'hypothèse que si les besoins attentionnels sont très importants en périphérie, alors lorsque les éléments autour de la cible seront présentés de façon mixte et aléatoire, le seuil de distance entre la cible et le pourtour devra être supérieur à la moitié du seuil de CI.

Si la vision périphérique est qualitativement identique à la vision fovéale, alors la présence d'un pourtour jouxtant la cible devrait permettre de réaliser de meilleures performances que la présence d'un pourtour plus éloigné, comme l'ont observé Flom et al. (1963), Liu (2001) et Danilova & Bondarko (1999) en vision fovéale.

## 2. Méthodes

Les quatre expériences du thème de l'effet de groupement ont été réalisées en

collaboration avec le professeur Dennis Levi au Collège d'Optométrie de l'Université de Houston (Texas, Etats-Unis).

### **2.1. OBSERVATEUR**

Trois observateurs : JP, TL et RY ont participé à cette expérience. Les trois ont une acuité visuelle corrigée à la normale. Deux observateurs sont expérimentés et naïfs aux buts de l'expérience, le troisième observateur RY est l'expérimentateur.

### **2.2. MATÉRIEL**

Les stimuli étaient générés par la carte Cambridge Research System VSG et présentés sur un écran d'ordinateur PC. La luminance et le contraste étaient réglés sur le Look-Up-Table associé au matériel et logiciel qui permettent de sélectionner 256 niveaux de couleurs. L'écran mesure 25 cm de hauteur et 33 cm de largeur et a une résolution de 800 fois 600 pixels et un rythme de rafraîchissement de 100 Hz. La luminance de l'écran était de 80 cd/m<sup>2</sup> durant toutes les conditions de l'expérience.

### **2.3. STIMULI**

La lettre E permettait une structure de 1/5 qui s'accordait à l'acuité visuelle. Pour un observateur ayant une bonne mise au point, l'angle



*Figure 65. Exemple d'une lettre E orientée à droite. La lettre est composée de 17 segments Gabor et elle est entourée de 4 barres structurées de 5 segments chacune. Les segments de la lettre et du flanc ont des FS de 3c° et sont orientés horizontalement et ont le même contraste. Le minimum de résolution est de 0.5 minutes d'arc qui correspond à l'intervalle séparant deux cônes dans la partie fovéale de la rétine (Westheimer, 1987). Ainsi, la lettre type utilisée dans la mesure d'acuité est caractérisée par une taille globale*

égale à 5 fois la taille des éléments la constituant, comme le schématise la figure de la session " Mesure de l'acuité visuelle, chapitre 1 partie II". Chacune des barres du pourtour et de la cible était constituée de 5 segments et représentait le 1/5 du total de la ligne. Chacune des barres du stimulus mesure 5°.

Le stimulus était composé de la cible E entourée de quatre barres flanquantes. La cible était structurée de 17 segments Gabor circulaires. Par exemple, dans le cas d'un E orienté à droite, comme le montre la figure 65, 5 segments fois 3 lignes horizontales + 2 segments formaient la cible. Le segment Gabor était calculé selon la formule suivante :

$$LM * (1 + \text{contraste} * \sinus (FS * z) * \exp(0.5 * ((x-xc)^2 + (y-yc)^2) / \sigma^2) \quad (16)$$

Où  $LM$  est la luminance moyenne, le contraste varie entre 0 et 100%, les  $FS$  sont les fréquences spatiales.  $Z$  est la direction  $x$  (réseau vertical) ou  $y$  (réseau horizontal) du réseau,  $\sigma$  est l'écart-type et  $\sigma^2$  la variance de la gaussienne,  $xc$  et  $yc$  sont les coordonnées du centre de chaque segment gabor.

#### **2.4. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE**

L'expérience s'est déroulée dans une pièce de luminance moyenne. Avant de commencer une session, l'observateur s'adaptait à la luminance de l'écran pendant deux minutes. Il était assis en face de l'écran de telle sorte que son regard soit perpendiculaire au haut de l'écran.

Afin de démarrer l'expérience, l'observateur devait appuyer sur le bouton droit de la boîte de réponse (en rouge dans la figure 66). Pendant une courte période, l'observateur effectuait une phase d'apprentissage. Un paradigme de choix forcé à 4 alternatives spatiales et stimuli constants était utilisé. L'observateur avait pour consigne de toujours fixer la barre de fixation apparaissant en haut de l'écran et d'identifier l'orientation de la cible E en appuyant sur le bouton adéquat de la boîte de réponses. Pour identifier les 4 orientations possibles du E (en haut, à gauche, à droite ou en bas), l'observateur devait appuyer sur les boutons de la manière suivante : le premier en haut, le deuxième, le quatrième ou le cinquième en bas, respectivement, le troisième bouton n'étant pas utilisé.

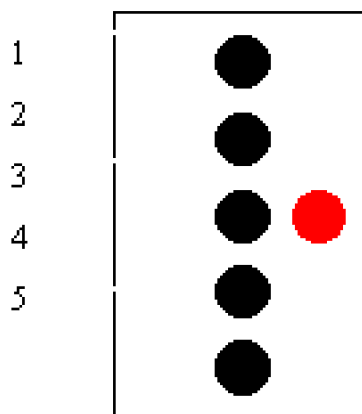


Figure 66. Représentation de la boîte de réponses. Les boutons de haut en bas : 1, 2, 4 et



5 correspondent aux réponses suivantes : E orienté en haut, à droite, à gauche et en bas, respectivement. Le bouton noir du milieu n'est pas utilisé. Le bouton rouge permet de démarrer l'expérience et de s'entraîner avant de commencer l'expérience.

Durant cette première phase d'apprentissage, l'observateur s'entraînait sur un niveau de contraste choisi par l'expérimentateur pour réaliser une fonction psychométrique s'étalant entre un niveau de réponse dû au hasard (25% ) et un niveau de réponse égal ou supérieur à 85% de réponses correctes. Chaque session consistait en 150 essais et était répétée 4 fois donnant lieu à 600 essais pour chaque condition étudiée.

Le stimulus était présenté à une distance de 57 centimètres à 10 degrés d'excentricité en champ visuel inférieur. La hauteur de la lettre sous-tendait une taille de 5 degrés d'angle visuel.

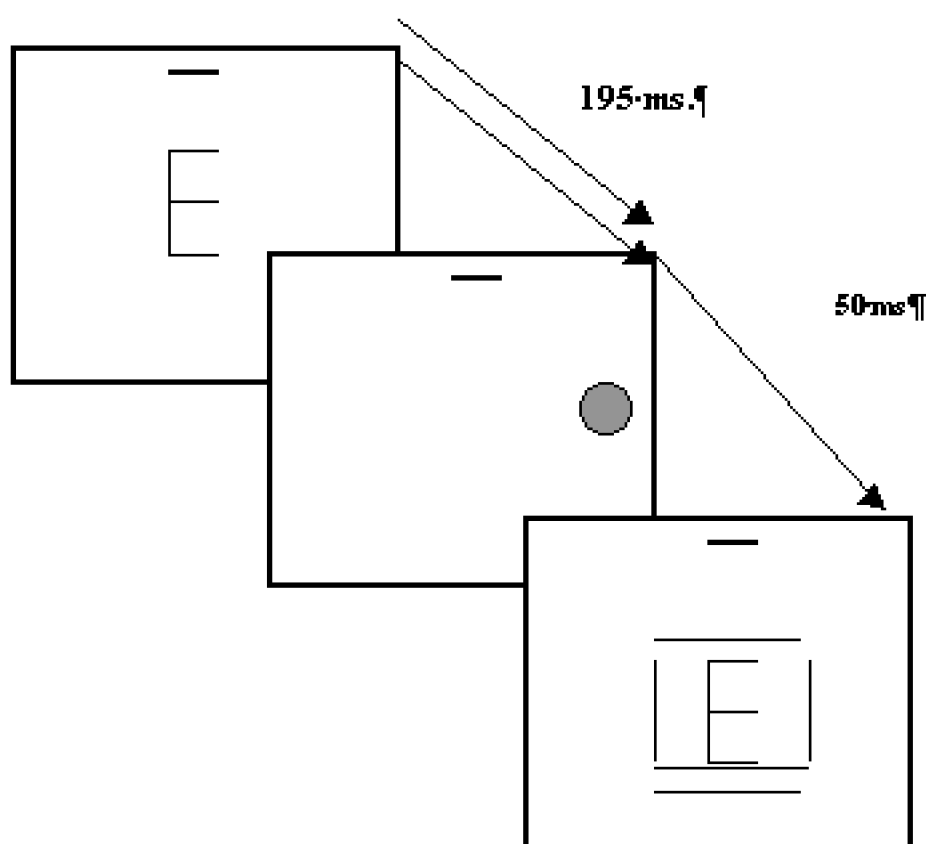


Figure 67. Représentation schématique d'un écran avec une cible au milieu et un trait en haut servant à stabiliser le regard à  $10^\circ$  en haut de la cible. Le deuxième écran apparaît après la réponse de l'observateur pour lui indiquer l'orientation de la lettre, il s'agit d'un *feed-back visuel*.

Dans l'expérience proprement dite, l'observateur devait fixer une barre de fixation, mesurant 5 min. de hauteur et 120 min. de largeur, placée à dix degrés en haut du centre de l'écran. Après avoir appuyé sur le bouton de droite, un stimulus accompagné d'un son apparaissait pendant 195 ms pour se prémunir contre la saccade oculaire. Le stimulus avait des FS, une orientation, un contraste et un nombre de segments fixes. La variable

indépendante était la séparation entre le centre de la cible et les flancs du pourtour. La distance entre le centre de la cible et le centre du pourtour était calculée de la manière suivante :

$$D(n) = C + n * S \text{ où } n = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]$$

où  $D(n)$  est la distance en pixels entre le centre du E et les barres flanquantes.  $C$  est la distance en pixel la plus courte entre le centre du E et les barres.  $n$  est un nombre aléatoire entre 0 et 6,  $S$  est le pas d'une distance à l'autre. Dans notre expérience, la distance la plus proche était de 30 min. l'équivalent de trois unités écart-type des segments gabor, le pas était de 30 min. Ainsi, les différentes distances étaient : 30, 60, 90, 120, 150, 180 minutes d'arc et un dernier niveau où la lettre était présentée isolément puisque la distance de séparation entre la cible et les flancs dépassait la largeur de l'écran. Cette condition de présentation de la lettre sans les éléments du pourtour constitue la condition de contrôle.

Tout de suite après avoir donné sa réponse, l'observateur recevait un feed-back visuel qui était un cercle noir apparaissant pendant 50 ms sur l'un des quatre côtés de l'écran pour indiquer l'orientation du E (cf. figure 67). Si le E était orienté à droite, l'observateur après avoir répondu, percevait un cercle à droite de l'écran et savait que le E qu'il venait d'identifier était orienté à droite.

Nous avons étudié trois conditions dans cette première expérience.

- Les segments de la cible et du pourtour avaient la même orientation locale comme le montre la figure 65.
- Une cible horizontale et un pourtour vertical.

Comme le montre la figure 68, les segments composant la cible étaient horizontaux et ceux composant les barres du pourtour étaient verticaux (i.e., orthogonaux.)

Cible horizontale et pourtour mixte

Dans cette condition, les segments de la cible étaient orientés horizontalement tandis que les segments des barres étaient orientés de façon mixte. Dans la condition mixte, les 20 segments structurant les 4 barres du pourtour étaient divisés en deux parties : 50% orientés verticalement et 50% orientés horizontalement. L'emplacement des segments horizontaux ou verticaux était entièrement aléatoire sur l'ensemble des 20 segments constituant les quatre barres.

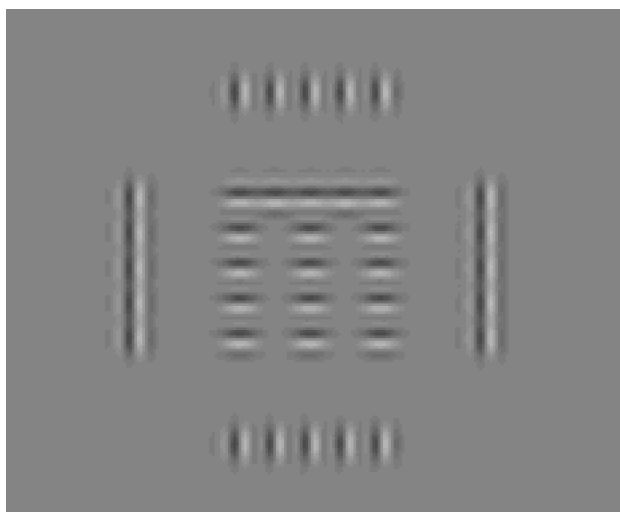


Figure 68. Représentation d'un stimulus ayant des barres de pourtour orientées verticalement. Toutes les autres caractéristiques étant similaires FS, orientation, contraste et nombre de segments par barre.



Figure 69. Représentation d'une cible avec des segments orientés horizontalement et les barres du pourtour ayant des segments orientés de façon mixte. 50% des 20 segments sont orientés verticalement et 50% orientés horizontalement. Le choix du segment orienté verticalement ou horizontalement est totalement randomisé.

### 3. Résultats

#### **3.1. PERFORMANCES CORRECTES**

Les pourcentages de bonnes réponses étaient ajustés par la fonction de Weibull afin d'estimer la distance critique ou seuil de distance. Le seuil correspond à la distance où les

performances baissent par 1/e (30%) par rapport à la condition de la lettre présentée isolément. L'ajustement est calculé par la formule de Weibull qui a la forme suivante :

$$P = \max - (\max - 25) * \exp(-(d/\alpha)^\beta) ; (16)$$

où  $P$  est la probabilité de bonnes réponses,  $\max$  est la probabilité de réponses maximales lorsque la cible est présentée isolément. 25 est le pourcentage des réponses dues au hasard : une chance sur 4 de donner la bonne orientation de la lettre E.  $d$  représente chacune des distances étudiées,  $\alpha$  est le seuil de distance. Sur le premier panneau de la figure 70, l'intersection entre la ligne discontinue noire et la ligne verte constitue la valeur du seuil de distance critique pointé par la flèche noire (condition verticale).  $\beta$  est la valeur de la pente ou le rythme d'évolution des performances en fonction de la variable indépendante (i.e., la distance séparant la cible du pourtour). Les barres d'erreurs étaient calculées par rapport au théorème binomial qui prend en considération les probabilités correctes ( $p$ ) et les probabilités incorrectes ( $1 - p = q$ ).

$$\sqrt{((p * q)/T)} \quad (17)$$

où  $T$  est le total des essais pour chacun des niveaux de la variable indépendante. Les barres d'erreurs sont représentées par des barres verticales sur les points représentant les performances ou les seuils. Lorsque les barres d'erreurs, représentées verticalement, ne sont pas visibles cela signifie que leur valeur est très basse.

Le contraste du stimulus était adapté individuellement pour chacun des participants et il était de 18%, 25% et 40% pour RY, TL et JP, respectivement. Les fréquences spatiales de la cible et du pourtour étaient de 3 c/° dans les trois conditions. La différence entre la cible et le pourtour résidait dans l'orientation des segments des barres flanquantes qui étaient : identiques, verticales ou mixtes.

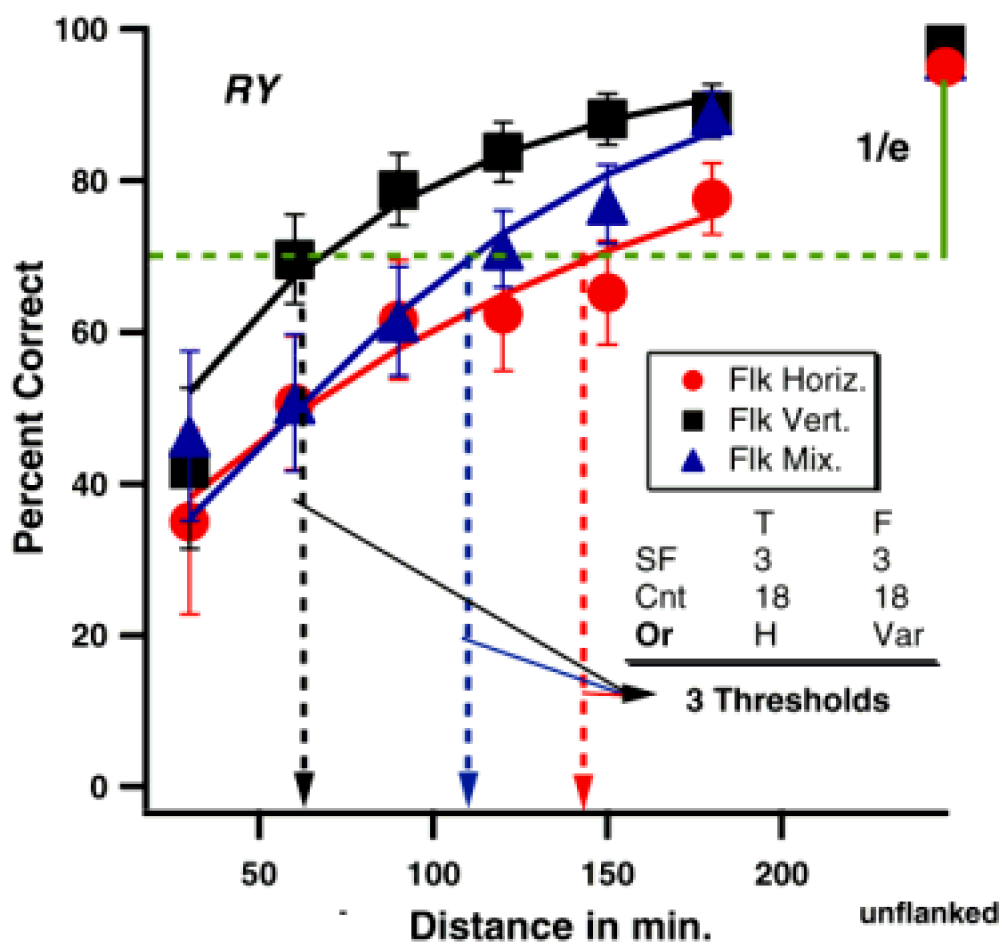
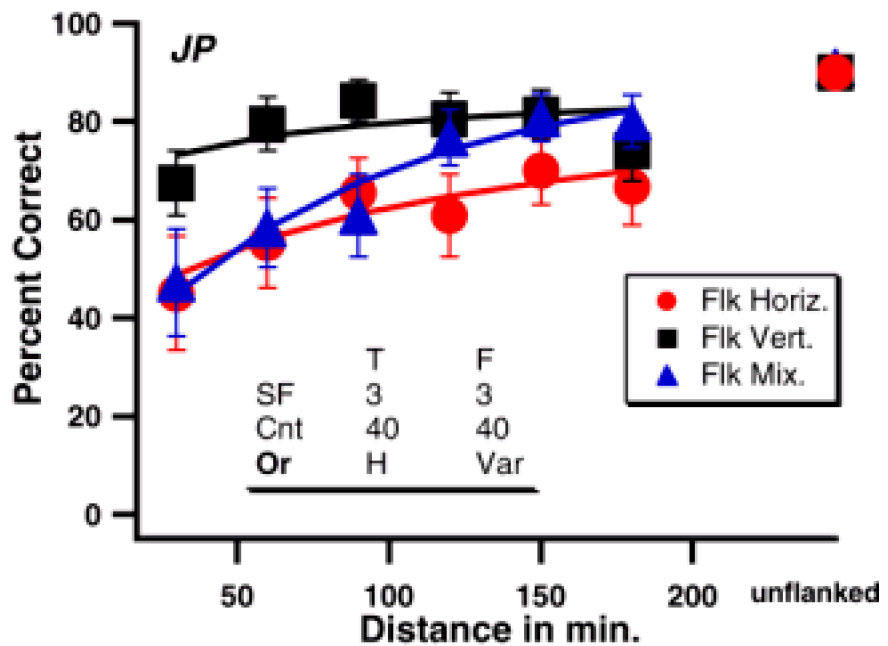
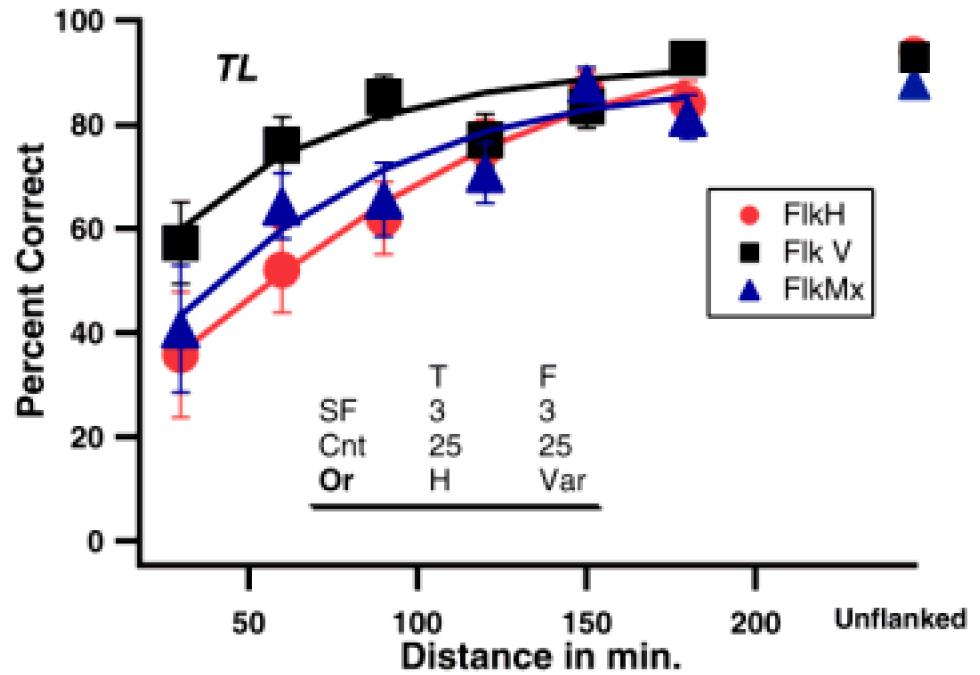


Figure 70. Représentation des performances des trois observateurs en fonction des distances séparant la cible et le pourtour. Les trois conditions sont : A) La cible et le pourtour ont la même orientation (cercles rouges). B) Les segments de la cible sont orientés horizontalement et les segments du pourtour sont orientés verticalement (carrés rouges). C) les segments de la cible sont orientés horizontalement et les segments du pourtour sont orientés des façon mixte (triangles bleus). Les lignes représentent les ajustements pour chacune des conditions.



La légende : T pour cible (Target en anglais), F pour flanc, SF pour fréquences spatiales, Cnt pour contraste, Or pour orientation et Var pour caractéristique variable, ici l'orientation des segments du pourtour.

La figure 70 représente les performances des observateurs en fonction des distances séparant la cible des flancs. Les lignes représentent l'ajustement effectué à partir de la fonction Weibull. Sur cette figure, on observe une augmentation graduelle des

pourcentages de bonnes réponses en fonction de la distance séparant la cible de son pourtour dans les trois conditions et chez les trois observateurs.

La proportion de bonnes réponses diffère d'une condition à l'autre. En effet, la condition de cible et pourtour ayant des FS, orientation et contraste identiques donne les performances les plus basses. Lorsque l'orientation locale du pourtour est mixte (50% verticale et 50% horizontale) les performances sont meilleures que dans la condition précédente. En revanche, lorsque l'orientation locale des barres est verticale (i.e., orthogonale) les performances sont très élevées.

### 3.2. SEUIL DE DISTANCE OU ÉTENDUE DE GROUPEMENT

Le seuil représente la distance critique à laquelle les performances atteignent un niveau critère. Ce niveau critère est défini comme le niveau de distance correspondant à la distance qui permet 1/e (i.e., 30%) de bonnes réponses en dessous de la condition de la lettre présentée isolément (cf. premier panneau de la figure 70). Plus le seuil est élevé, plus les performances sont basses et plus le seuil est bas plus les performances sont élevées.

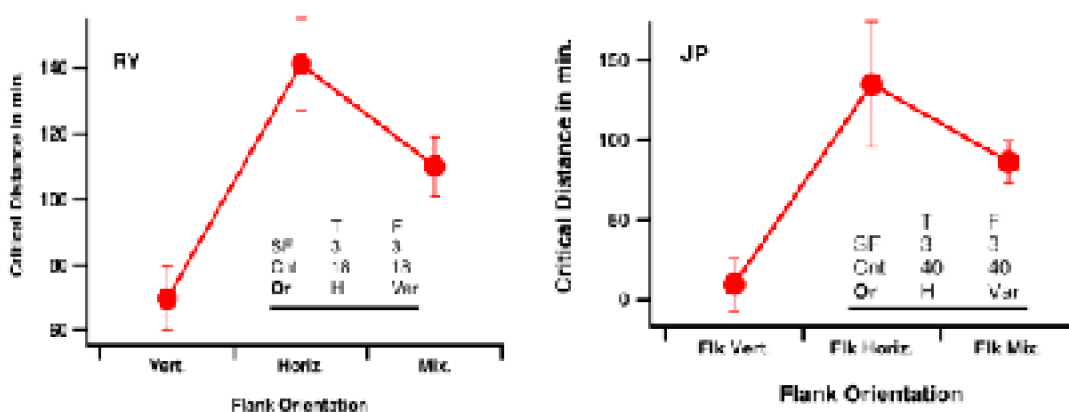
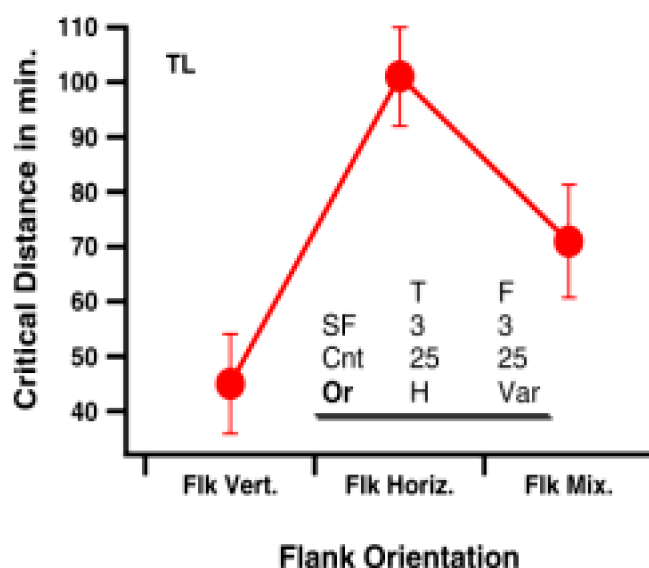


Figure 71. Représentation des distances critiques ou seuils en minutes pour les trois conditions. Flk abréviation de flank en anglais. Les trois conditions : Vert. Horiz. et Mix : segments des barres sont verticaux, horizontaux, et mixtes, respectivement.



Il ressort de la figure 71 que lorsque la cible et le pourtour ont la même orientation l'étendue de l'effet de groupement est maximale. Ceci est indiqué par la longue distance critique correspondant à une distance de 126 minutes d'arc en moyenne.

Lorsque l'orientation locale du pourtour est verticale (i.e. orthogonale), l'étendue du groupement est très courte pour deux observateurs RY et TL et est inexistante pour l'observateur JP, à noter que cet observateur est le plus expérimenté. Lorsque l'orientation des segments du pourtour est mixte, le seuil de distance est de 93 minutes en moyenne.

#### 4. Conclusion

Les trois conditions se distinguent par l'ampleur de l'effet de groupement qu'elles provoquent.

#### CONDITION D'ORIENTATION IDENTIQUE

La condition d'orientation horizontale du pourtour (identique à l'orientation de la cible) provoque l'effet de groupement le plus important. Ceci est représenté par des performances d'une amplitude très basse et donc un seuil très élevé. Dans cette condition, l'étendue spatiale de l'effet de groupement était la plus large et mesurait 126 min. d'arc en moyenne. Ce résultat argumente en faveur d'une connexion inhibitrice entre ensemble de cellules ou canaux sélectifs à la même orientation. Pour une cible visuelle composée de segments gabor et entourée par des barres de même structure, l'étendue de l'interaction spatiale est équivalente à :

$$E * 0.2 \text{ degré}$$

où E est l'excentricité à laquelle le stimulus est présenté. Cette étendue est égale à celle observée par Leat et al. qui ont utilisé la tâche d'identification de l'orientation de la



brisure du C (sans-sérief) entourée par d'autres C. Ils ont observé une étendue de E fois 0.22 lorsque la cible était une lettre C (sans sérief) et une étendue de E fois 0.3 lorsque la lettre était 'C'(avec sérief).

L'étendue obtenue ici est inférieure à celle obtenue dans les études précédentes proposant que l'effet de groupement s'étend sur une large distance équivalente à la moitié de l'excentricité à laquelle le stimulus est présenté (Bouma, 1970; Kooi et al., 1994; Toet & Levi, 1992). La différence entre les résultats de ces dernières études et les nôtres peut être due au fait que les études précédentes ont mesuré l'étendue de l'effet de groupement en utilisant une cible entourée par des flancs de même forme, un T entouré par d'autres T. Dans notre étude, la cible et le pourtour n'ont pas la même forme, car la cible est un E et les éléments du flanc sont en forme de barres. La différence de forme entre la cible et le pourtour n'explique pas la différence entre nos résultats et ceux obtenus par Bouma (1970). Cet auteur a utilisé un stimulus composé de l'une des 25 lettres de l'alphabet flanquée par x à droite et à gauche. Bien que la cible soit différente des flancs, l'effet de groupement correspondait à  $E * 0.5$  dans cette étude. Ainsi, nous concluons que l'effet de groupement dépend de la similarité de la cible et du pourtour mais aussi de la **complexité de la forme des flancs entourant la cible**.

#### **CONDITIONS MIXTE ET ORTHOGONALE**

Dans la condition mixte, la moitié des canaux traitant les éléments du pourtour était stimulée par une orientation excitatrice (orthogonale) et l'autre moitié par une orientation inhibitrice (identique). Si l'effet de groupement était dû uniquement à l'interaction entre canaux sélectifs aux différentes orientations, le groupement aurait été de 60 minutes environ (la moitié du seuil de la condition identique). Les résultats montrent une interaction qui s'étend sur une plus grande distance de 93 min. en moyenne. Nos résultats rejoignent ceux observés par Leat et al. (1999) et argumentent en faveur d'un facteur attentionnel plus important en vision périphérique. Lorsque l'orientation locale des éléments du pourtour est mixte, on peut proposer une étendue de groupement de :

#### **E \* 0.155 degré**

La condition de l'orientation orthogonale des segments a provoqué un effet de groupement très bas pour deux observateurs RY et TL. L'observateur JP ne montrait pas d'effet de groupement (c'est le sujet le plus expérimenté dans les expériences psychophysiques). La présence d'une orientation voisine différant par 90° provoque un effet de groupement minimal voire absent.

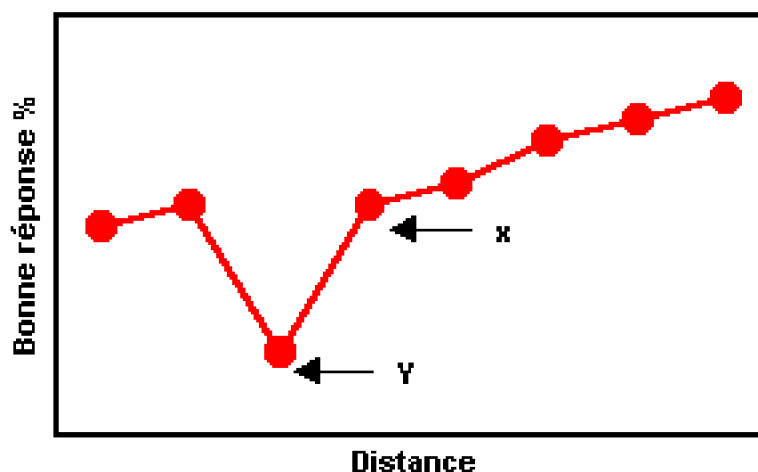


Figure 72. Représentation schématique des résultats obtenus par Flom et al. (1963) en vision fovéale. *y* représente la distance de séparation entre la cible et le pourtour qui provoque le maximum d'effet de groupement et le *x* est le point à partir duquel les performances évoluent jusqu'à atteindre une asymptote.

Contrairement à ce qui a été observé en vision fovéale par Flom et al. (1963) Liu (2001) et Danilova et Bondarko (1999), nous n'avons observé aucune configuration ressemblant aux point *x* et *y* (cf. figure 72). Ceci indique qu'en vision périphérique tous les éléments placés dans le voisinage de la lettre provoquent un effet de groupement. Cet effet est très élevé lorsque les barres sont à 30 min. du centre de la cible et se dissipe au fur et à mesure que les barres s'en éloignent. Ce résultat constitue un argument en faveur d'une différence qualitative entre la vision centrale et la vision périphérique. II. Expérience 5. Rôle des Fréquences spatiales dans l'effet de groupement

## II Expérience 6. Visibilité ou sélectivité aux bases FS ?

---

### 1. Introduction

Les canaux visuels sont sélectifs aux orientations et aussi aux FS . Les études précédentes ont trouvé que l'interaction entre la cible et le pourtour provoque un effet de groupement maximal lorsque les FS de la cible et du pourtour sont identiques .

L'hypothèse à vérifier dans cette expérience est que si les canaux sélectifs aux FS sont indépendants lorsqu'ils traitent des gammes de FS différentes, alors l'effet de groupement est très élevé lorsque la cible et le pourtour ont des FS avoisinantes ou similaires et il est très léger voire absent lorsque les FS du pourtour sont différentes de celles de la cible.

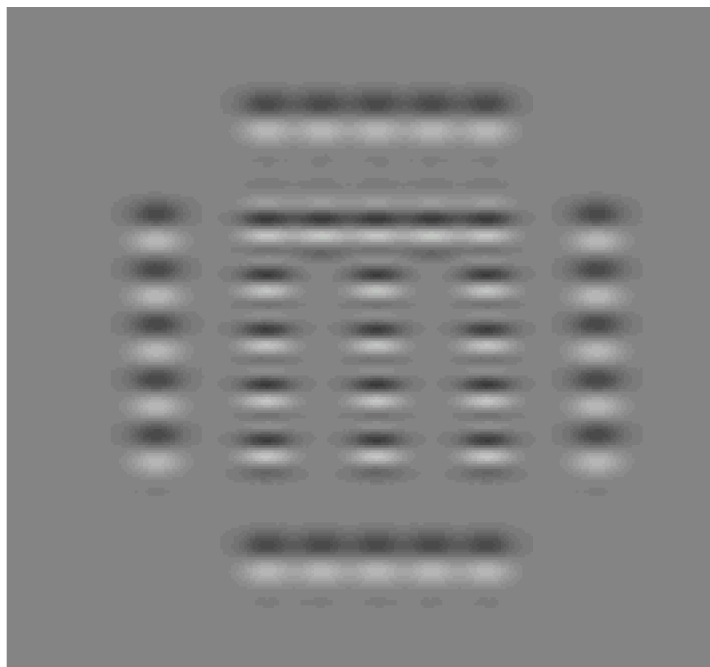
### 2. Méthode

Les mêmes observateurs qui ont participé à l'expérience 3. Le même matériel et la même procédure que dans l'expérience 1 ont été utilisés pour mesurer l'étendue de l'effet de

groupement dans trois conditions de FS.

*Conditions :*

Flancs et cible ayant des FS identiques, voir figure 65.



*Figure 73. Représentation d'une cible ayant des FS supérieures (3 c/°) aux FS du pourtour (1.5 c/°). Sur l'image les segments du pourtour paraissent plus grands que ceux de la cible. Ceci est dû à la visibilité qui est plus importante dans les basses FS.*

Flancs ayant des FS plus basses d'une octave

Dans cette condition, comme le montre la figure 73, les segments des barres ont le même contraste et la même orientation et des FS plus basses de 1.5 c/° (cf. figure 64).

3- Flancs ayant des FS supérieures d'une octave

Dans cette condition les FS du pourtour sont supérieures d'une octave par rapport aux FS de la cible. Les FS de chacun des segments du pourtour sont de 6 c/° et ceux de la cible sont de 3 c/° (cf. figure 74).

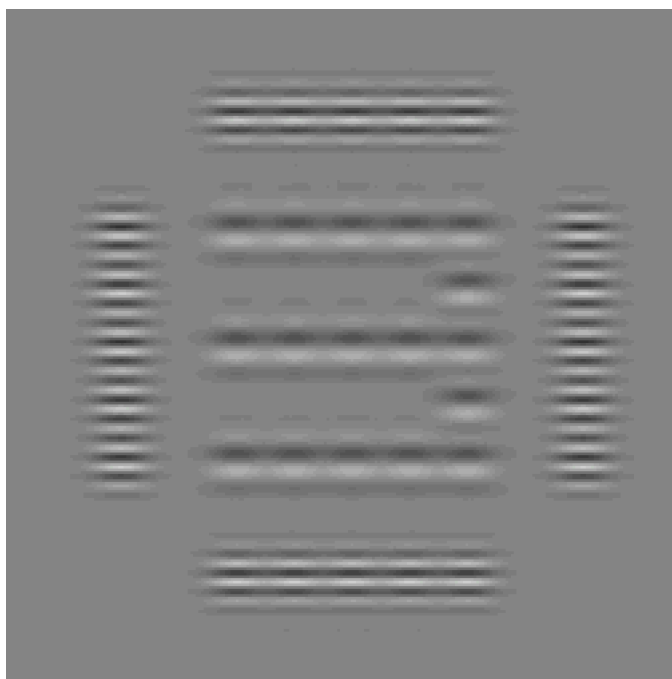


Figure 74. Représentation d'une cible E orientée à gauche ayant des FS de  $3\text{ c}^\circ$  et des barres ayant des FS supérieures d'une octave ( $6\text{ c}^\circ$ ).

### 3. Résultats

#### 3.1. PERFORMANCES CORRECTES

Dans la figure 75, les points représentent les performances en fonction des distances séparant la cible et le pourtour. Les lignes représentent les ajustements effectués selon la formule de Weibull. Nous observons que les performances sont meilleures pour la condition de pourtours ayant des FS d'une octave au-dessus des FS de la cible.

En revanche, lorsque le pourtour a des FS égales ou d'une octave inférieure aux FS de la cible, les performances sont très basses. Les points qui ne sont pas ajustés, représentent les performances lorsque la cible est présentée isolément (i.e., condition de contrôle).

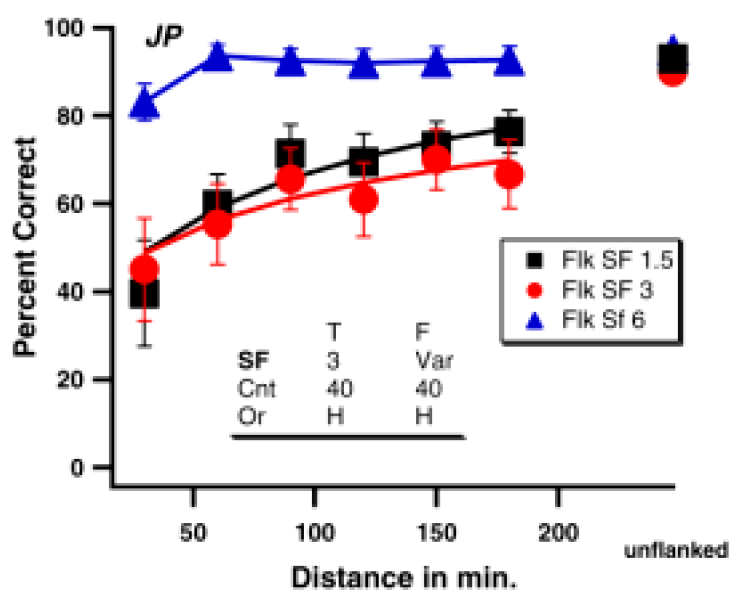
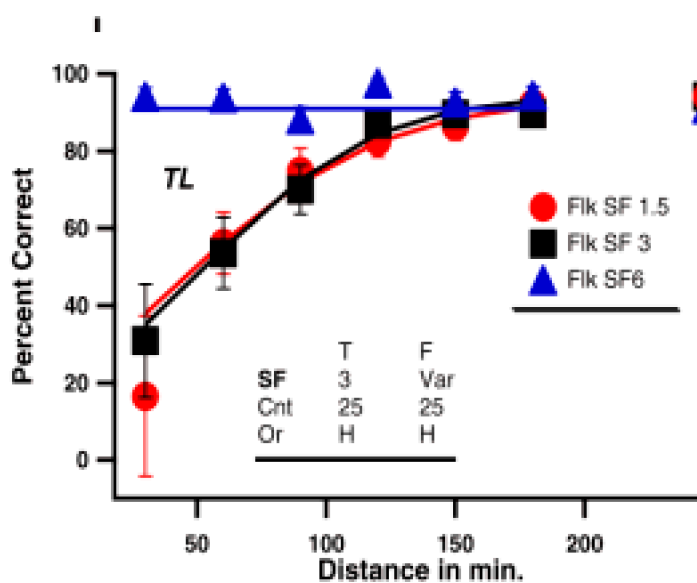
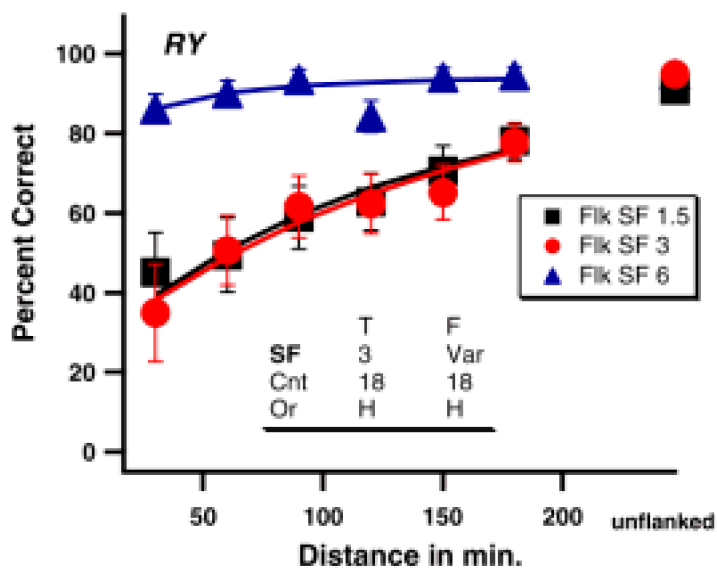


Figure 75. Evolution des bonnes réponses en fonction des distances pour trois conditions. Dans tous les cas la cible a des FS de 3 c°. La Cible est présentée isolément (*unflanked* en anglais).





### 3.2. DISTANCES CRITIQUES

La figure 76 représente les seuils de bonnes réponses en fonction du rapport des FS du pourtour / FS de la cible. Un rapport de 0.5 indique que le pourtour a des FS de 1.5 c/° et la cible des FS de 3 c/°.

Pour les trois observateurs, on observe que lorsque les FS du pourtour sont inférieures de deux octaves par rapport à celles de la cible, les seuils sont légèrement plus bas voire égaux à la condition cible et pourtour similaires. L'étendue de l'effet de groupement dans cette condition est de 102 min. en moyenne.

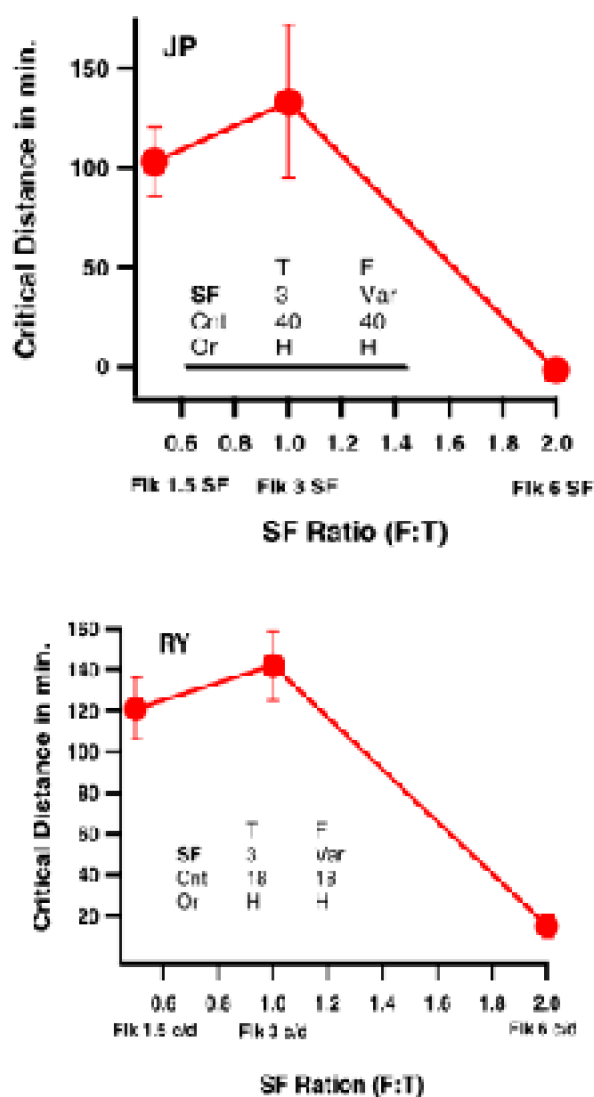
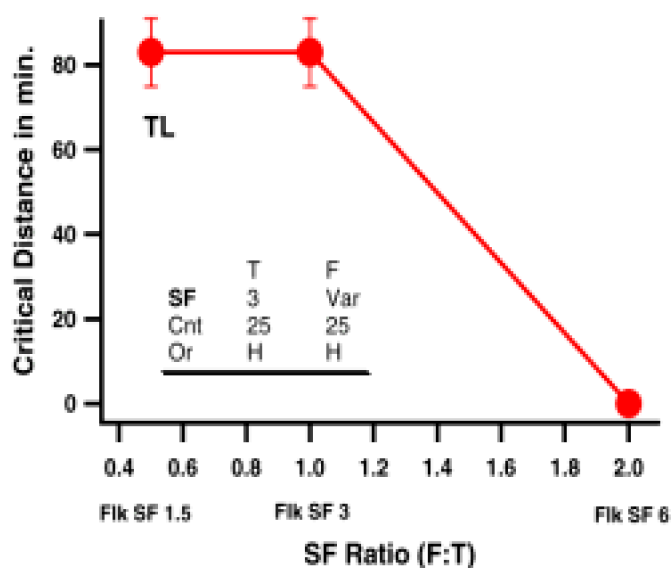


Figure 76. Représentation des seuils de distance pour les trois conditions. Toutes les caractéristiques du stimulus sont identiques hormis les fréquences spatiales des barres qui varient selon trois conditions : identiques, supérieures ou inférieures aux FS de la cible.



Lorsque les FS du pourtour sont d'une octave supérieure par rapport aux FS de la cible, l'effet de groupement est absent.

#### 4. Conclusion

Lorsque la cible et le pourtour ont les mêmes FS, le seuil de distance est alors le plus élevé. En revanche, lorsque le pourtour a des FS d'une octave supérieure aux FS de la cible, l'effet de groupement est absent.

Le résultat surprenant de cette expérience est que lorsque le pourtour a des FS d'une octave inférieures par rapport aux FS de la cible, ceci provoque un effet de groupement très important correspondant à un seuil de distance de 110 minutes en moyenne. Ce résultat est surprenant, car le pourtour est différent de la cible et donc on s'attendait à un effet de groupement très léger voire absent. Nos résultats vont à l'encontre de ceux réalisés dans plusieurs études. Ces derniers auteurs ont observé un effet de groupement très léger voire absent lorsque la cible était flanquée par des éléments de basses FS en vision fovéale et en vision périphérique.

Nous posons la question suivante :

L'étendue du groupement dans la condition des segments du pourtour de basses FS est-elle due à la **visibilité** ou bien au fait que dans l'effet de groupement la stimulation des canaux sélectifs aux basses FS provoque une interaction inhibitrice sur les canaux sélectifs aux hautes FS ?

### III. Expérience 6. Visibilité ou sélectivité aux basses FS?

#### Introduction

Il est bien connu, dans la littérature psychophysique, que la visibilité ou sensibilité au



---

contraste augmente en fonction des fréquences spatiales jusqu'à une FS de 3 à 5  $c/^\circ$  et baisse ensuite. Plus la sensibilité est haute et moins le système visuel a besoin de contraste pour détecter le stimulus. Au contraire, plus la sensibilité est basse et plus le système a besoin de contraste pour détecter le stimulus (cf. *fonction de sensibilité au contraste* : chapitre 1, partie II).

Dans l'expérience 5, il est possible que lorsque les segments du pourtour étaient de 1.5  $c/^\circ$  cela leur attribuait une visibilité maximale qui a provoqué une étendue de groupement très large. En revanche, lorsque les segments du pourtour étaient de 6  $c/^\circ$  leur visibilité était au plus bas permettant à la cible de 'ressortir' du fond et donc d'être plus facile à identifier. De ce fait, on peut suggérer que nos résultats sont dus à un effet de visibilité.

L'hypothèse à vérifier est que si l'effet de groupement observé dans la condition de pourtour composé des basses FS dans l'expérience 5 est dû à la visibilité, alors l'égalisation du niveau de visibilité des différentes FS du pourtour provoquera un effet de groupement similaire pour toutes les FS supérieures ou inférieures aux FS de la cible.

## **Expérience préliminaire**

L'objectif de cette expérience était de mesurer le contraste permettant de rendre égale la visibilité des quatre FS étudiées : 1.5, 3, 4.5 et 6 $c/^\circ$ .

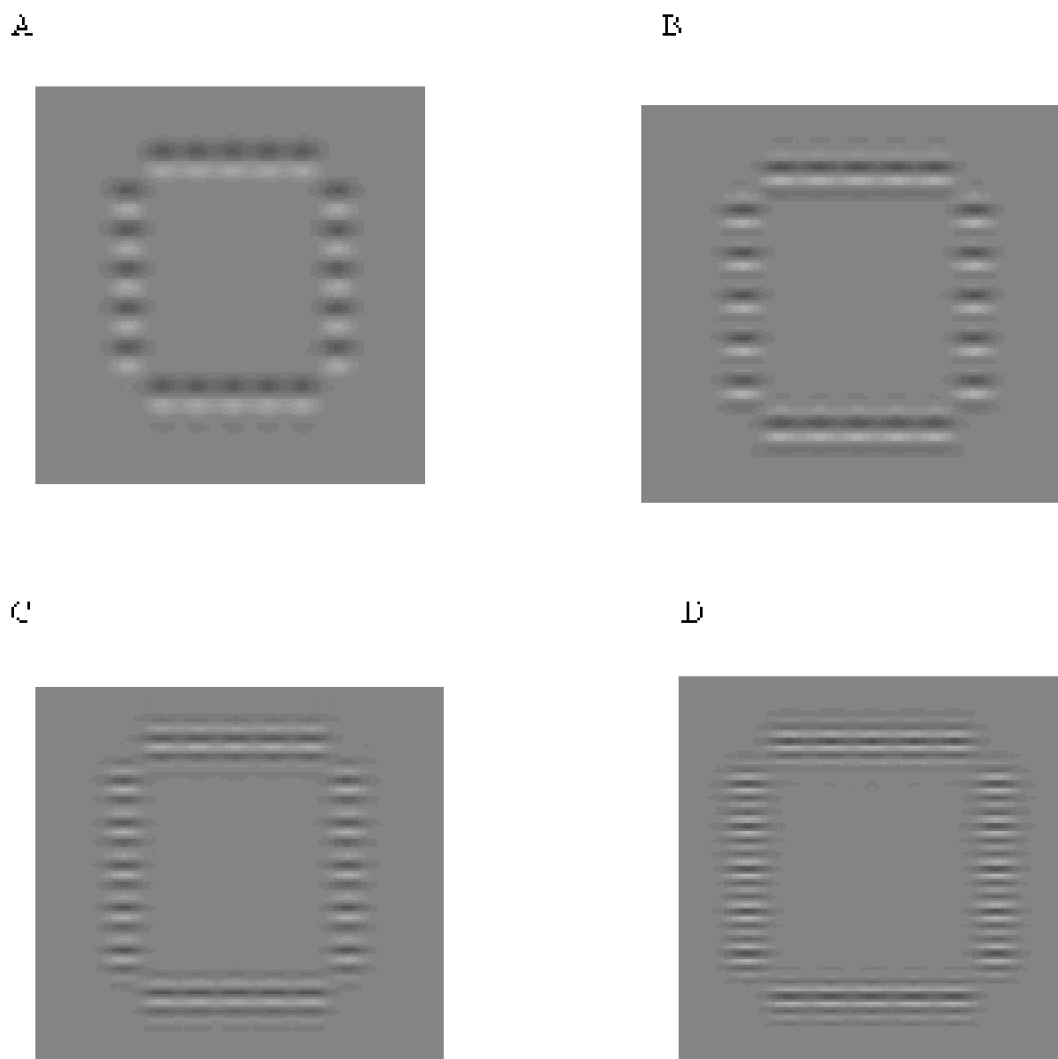
### **1. MÉTHODE**

#### **1.1. Observateurs**

Deux observateurs, SF et RY ont participé à cette expérience. Les deux observateurs avaient une acuité visuelle normale ou corrigée à la normale, respectivement. SF n'est pas expérimenté et est naïf aux objectifs de l'expérience, RY est l'expérimentateur.

#### **1.2. Matériel et Stimuli**

Le matériel est identique à celui utilisé dans l'expérience 3. Le stimulus est un carré dont chaque côté est composé de 5 segments gabor et mesure 5° (cf. figure 77). Les segments ont la même orientation horizontale dans chacune des 4 conditions étudiées.



*Figure 77. Images des stimuli composés de 4 barres. Chacune de ces images est composée de 5 segments Gabor. Les quatre stimuli ont une orientation horizontale et une taille identiques. Les FS des panneaux A, B, C et D varient entre 1.5, 3, 4.5 et 6  $c^\circ$ , respectivement.*

### **1.3. Procédure**

L'observateur fixe la barre de fixation en haut de l'écran. Les stimuli sont présentés en vision périphérique à  $10^\circ$  dans le champ visuel inférieur. Le paradigme est un choix forcé à quatre alternatives spatiales. La tâche de l'observateur consistait à juger le contraste du stimulus sur une échelle de 4 niveaux.

Un essai était constitué des événements suivants :

Un bip sonore annonçait le début de l'expérience. Ensuite un stimulus est présenté pendant 195 ms. Après avoir donné sa réponse, l'observateur recevait un feed-back sonore lui indiquant la bonne réponse concernant le stimulus précédent. Ce feed-back

variait entre un son grave indiquant que le niveau du contraste du stimulus était très bas et un son aigu indiquant que le niveau du contraste était à un niveau maximal ayant pour valeur 4.

Les conditions étudiées, dans cette partie de l'expérience, concernaient les FS du stimulus qui étaient de : 1.5, 3, 4.5 et 6  $c^\circ$ . Dans chaque session le contraste de la cible changeait par un facteur  $f$  correspondant à [1 2 3 4]. Par exemple, si le niveau le plus bas du contraste de la cible était de 5%, alors les 4 niveaux de contraste étaient  $5 * f = 5, 10, 15$  et 20%.

Plusieurs sessions pilotes ont été exécutées afin d'obtenir une sensibilité égale dans les différentes FS du stimulus. La sensibilité était mesurée par l'indice  $d'$  et était considérée égale pour les différentes FS lorsque le profil décrit ci-dessous était atteint.

$d'$  de 0.5 à 1 entre le niveau de contraste 1 et 2.

$d'$  de 1.5 à 2 environ entre le niveau de contraste 1 et 3.

$d'$  de 2.5 à 3 environ entre le niveau de contraste 1 et 4

Lorsque ce profil de sensibilité était atteint, le seuil de contraste était maintenu pour chacun des deux observateurs dans les quatre conditions des FS.

### **1.3.1. Normalisation du niveau de contraste pour les différentes FS.**

Afin de normaliser les niveaux de contraste des différentes FS, c'est-à-dire égaliser leur visibilité, il fallait d'abord diviser le plus haut niveau de contraste par le contraste nécessaire pour les stimuli composés de 6  $c^\circ$  les FS (comme elles sont les plus hautes, elles sont donc les moins visibles). Ensuite il fallait utiliser ce facteur pour normaliser les niveaux de contraste des autres FS.

Exemple :

Si les niveaux de contraste seuil pour juger les stimuli étaient les suivants :

un contraste de 6% pour les FS de 1.5  $c^\circ$ , un contraste de 10% pour les FS de 3  $c^\circ$  et un contraste de 18% pour les FS de 6  $c^\circ$ . Si le niveau de contraste des FS de 6  $c^\circ$  était élevé à un maximum de 90% cela équivaut à un niveau de contraste de 30% pour les FS de 1.5  $c^\circ$  et à niveau de contraste de 54% pour les FS de 3  $c^\circ$ . Pour les deux observateurs nous avons obtenu les niveaux de contraste présentés dans le tableaux 18.

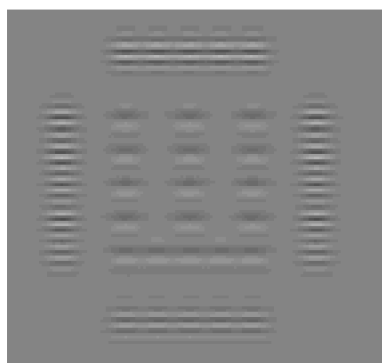
**Tableau 18. Valeurs des niveaux de contraste et des valeurs correspondantes après normalisation**

Observateur	FS	Cnt dét.	Cnt normalisé
RY	1.5	5	25
	3	5.2	25
	4.5	14	70
	6	18	90
SF	1.5	5.3	26
	3	5	24
	4.5	9	44
	6	18	90

Les contrastes subjectifs étaient rendus égaux, ce qui signifie que la baisse de visibilité des hautes FS était compensée par l'augmentation du contraste.

### Stimuli de la deuxième phase

A



B

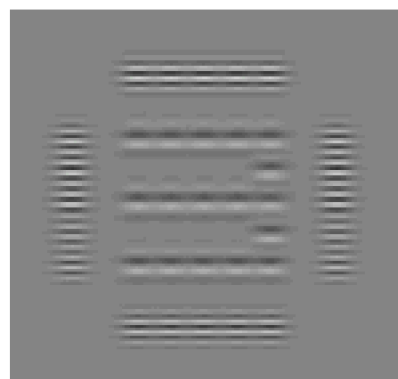
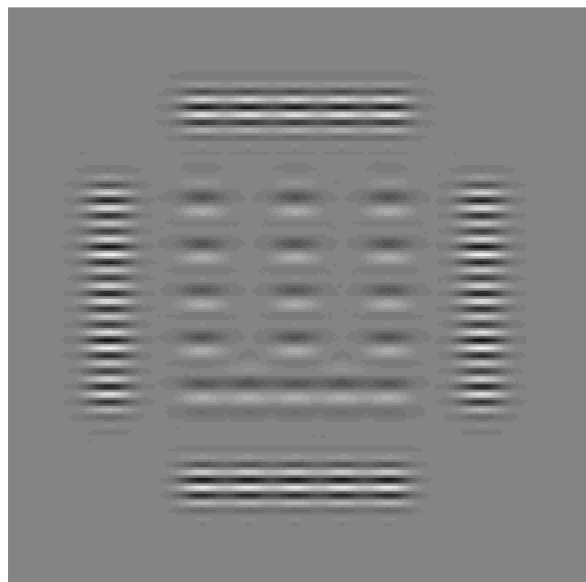


Figure 78. Exemple d'un stimulus composé de FS et de niveaux de contraste différents. La cible est composée de FS de 3 c/° et le pourtour de FS de 6 c/°. Dans le panneau A, le E et le pourtour ont un niveau de contraste de 40%. Dans le panneau B, le E a un contraste de 40% et le pourtour un contraste de 60. Dans le panneau C, la cible a un niveau de contraste de 40% et le pourtour de et 90%.

C



## Expérience proprement dite

### 1. MÉTHODE

#### **1.1. Observateur**

Les mêmes observateurs qui ont participé à la partie préliminaire de l'expérience, RY et SF.

#### **1.2. Matériel et stimuli**

Le matériel utilisé dans cette expérience était identique à celui utilisé dans l'expérience 3.

#### **1.3. Procédure**

Nous avons utilisé la même procédure que celle utilisée dans l'expérience 3. Dans une même session toutes les caractéristiques physiques étaient maintenues fixes, la variable indépendante était la distance séparant le centre de la cible des éléments du pourtour. Quatre conditions ont été étudiées. Les FS de la cible étaient toujours de  $3 c/^\circ$  et le niveau de contraste de 26 % pour les deux observateurs. En revanche, les FS et les niveaux de contraste des barres du pourtour variaient dans quatre conditions.

Pour les barres ayant des FS de  $1.5 c/^\circ$ , le un niveau de contraste était fixé à 25% et 26% pour RY et SF, respectivement.

- Pour les barres ayant des FS de  $3\text{ c}^\circ$ , le niveau de contraste était fixé à 25% et 24% pour RY et SF, respectivement
- Pour les barres ayant des FS de  $4.5\text{ c}^\circ$ , le un niveau de contraste était fixé à 70% et 44% pour RY et SF respectivement
- Pour les barres ayant des FS de  $6\text{ c}^\circ$ , le un niveau de contraste était fixé à 90% pour les deux observateurs.

## **2. RÉSULTATS**

Les performances de chaque observateur étaient analysées et ajustées par la fonction de Weibull. La formule utilisée pour ajuster les performances était identique à celle décrite dans l'équation 17. Nous avons effectué une analyse des probabilités de bonnes réponses en fonction des distances séparant le centre de la cible du centre du pourtour.

### ***2.1. Analyse***

La figure 79 montre la distribution des performances en fonction de la distance séparant la cible du pourtour dans quatre conditions. Ces conditions concernent les FS des segments du pourtour qui sont : 1.5, 3, 4.5 et  $6\text{ c}^\circ$ .

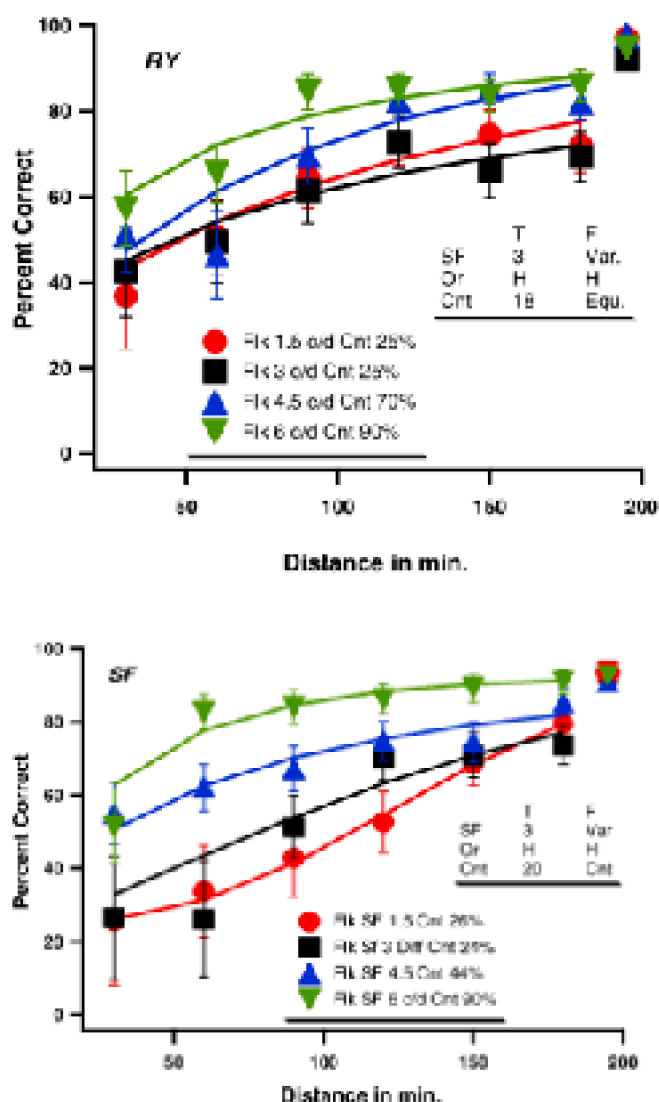


Figure 79. Représentation des quatre conditions de FS. Les FS du pourtour étaient 1.5, 3, 4.5 et 6  $c^\circ$ . Les niveaux de contraste diffèrent d'une condition à l'autre afin de compenser la perte de visibilité en fonction des hautes FS.

Les performances de bonnes réponses s'améliorent à mesure que la distance entre la cible et le pourtour s'élargit. Elles atteignent un maximum lorsque la cible est présentée isolément. L'ampleur des courbes de performances change en fonction des FS des barres du pourtour.

### Seuil de distance pour chacune des FS

L'étendue de l'effet de groupement est quantifiée pour chacune des quatre conditions. La figure 80 montre que lorsque les FS du pourtour sont basses, alors l'étendue de groupement est aussi large que lorsque la cible et le pourtour ont les mêmes FS.

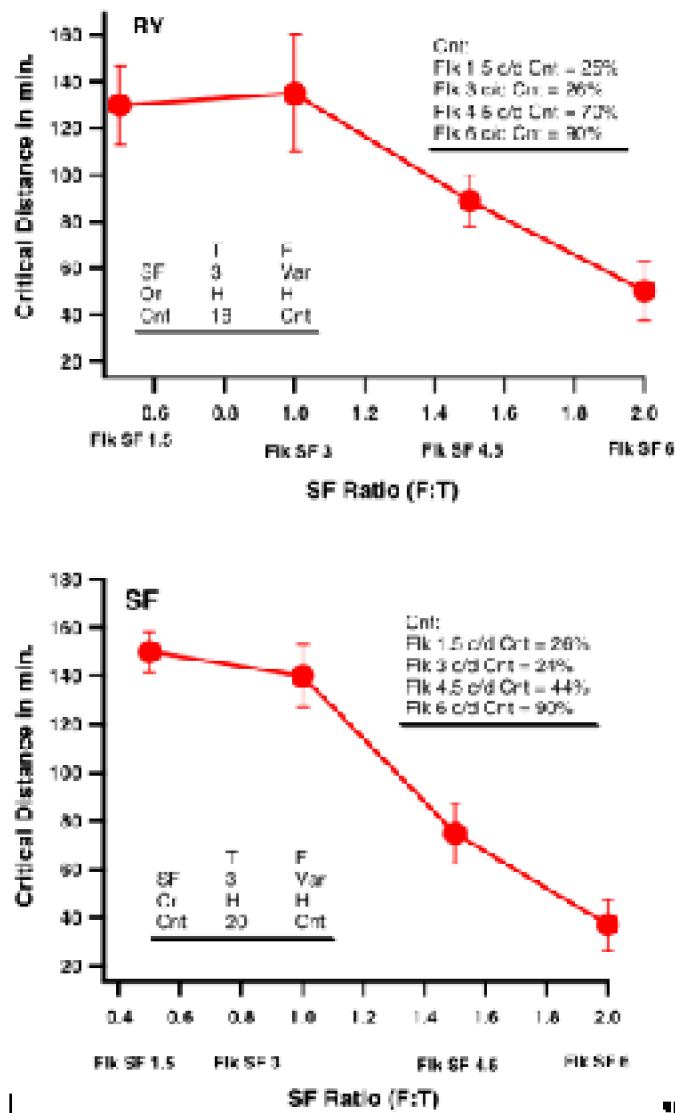


Figure 80. Représentation des seuils de distance en fonction du rapport FS du pourtour/ FS de la cible. Le contraste de la cible est le même dans chacune des conditions 18% pour RY et 20% pour SF. Le contraste du pourtour est différent pour chaque condition comme il est expliqué dans la légende de la figure. Les seuils de distance baissent en fonction des hautes FS du pourtour même si le contraste subjectif est le même.

Les barres structurées de basses FS (1.5 c/°) continuent à provoquer une plus longue étendue d'effet de groupement que les barres de hautes FS, même après une égalisation de la visibilité (augmentation du niveau de contraste des segments composés de hautes FS). L'étendue de groupement, dans cette condition, est de 140 min. Elle est équivalente à l'étendue de la condition où les FS de la cible et du pourtour sont identiques. Lorsque les FS sont d'une demie octave supérieure, l'effet de groupement est de 79 min. A noter que les FS de 6 c/° provoquent un effet de groupement même s'il reste léger et mesure en moyenne 45 min.

### 3. CONCLUSION



La haute visibilité des basses FS et la basse visibilité des hautes FS ne sont pas les seuls facteurs responsables du profil de l'effet de groupement observé dans l'expérience 5. En effet, l'étendue du groupement s'avère plus importante lorsque les flancs sont composés de basses FS que lorsqu'ils sont de hautes FS, bien que la visibilité soit égalisée selon un niveau de contraste subjectif. Ce résultat est surprenant, car nous nous attendions à un effet de groupement plus léger voire absent pour les basses FS de  $1.5 c^\circ$  (la visibilité du pourtour était égalisée pour toutes les FS).

Ce résultat va à l'encontre d'une indépendance entre les canaux visuels sélectifs à des marges de FS différentes. A notre connaissance, cet effet n'a pas été observé auparavant dans la littérature psychophysique. Chung et al. (2001) ont observé un profil d'effet de groupement différent. Ils n'ont remarqué aucune tendance des FS basses à provoquer un effet de groupement plus important que les FS les plus hautes. Dans leur étude, l'augmentation des valeurs des seuils en fonction des FS des lettres du pourtour ont une distribution normale (gaussienne) avec un pic autour de la FS correspondant aux FS de la cible.

L'étendue de l'effet de groupement baisse en fonction des hautes FS. La baisse de l'étendue suit un continuum, c'est-à-dire que les FS de pourtour supérieures par une demie octave provoquent une plus large étendue de l'effet de groupement que les FS supérieures par deux octaves. Ceci suggère que dans le phénomène de groupement, le poids des basses FS est plus fort que celui des hautes FS.

Après l'égalisation de la visibilité des différentes FS, on observe un effet de groupement lorsque les flancs ont des FS de deux octaves supérieures à celles de la cible. Ce résultat est différent de celui obtenu dans l'expérience quatre où l'effet de groupement était totalement absent dans la condition de FS de  $6 c^\circ$  pour le pourtour et de  $3 c^\circ$  pour la cible à un niveau de contraste physique égal. Pour l'observateur RY, lorsque la cible et le pourtour avaient le même contraste physique le pourtour de  $6 c^\circ$  ne provoquait aucun effet de groupement. Cependant, l'égalisation du contraste subjectif a provoqué une étendue de groupement de 50 min. chez ce même observateur.

L'augmentation du contraste subjectif dans cette expérience a provoqué une étendue de groupement considérable puisque on est passé d'une absence d'effet de groupement lorsque les FS étaient d'une octave supérieure à une étendue du groupement de 50 min. Ceci indique un impact du niveau de contraste du pourtour sur l'identification de la cible. Afin de mesurer cet impact nous avons réalisé une autre expérience dont l'objectif était de quantifier l'influence du contraste des barres du pourtour sur la reconnaissance de la cible.

## IV. Expérience 7. Impact du niveau de contraste sur l'effet de groupement

### 1. Introduction

La théorie du **regroupement** (grouping en anglais) propose que lorsque la cible est différente du pourtour, il est plus facile au système visuel de regrouper la cible en un

ensemble et le pourtour en un autre ensemble. Ceci permet de traiter la cible facilement. Au contraire, lorsque la cible a les mêmes caractéristiques que les éléments du pourtour, les deux composantes du stimulus sont regroupées en un seul ensemble et donc il est plus difficile de les séparer et d'identifier la cible (Kooi et al., 1994).

Nous allons vérifier si cette idée s'applique aussi au contraste. La première hypothèse est que si l'effet de groupement est le résultat de la similarité de la cible au pourtour, alors les barres du pourtour provoqueront un effet de groupement maximal lorsque le contraste de la cible est égal à celui du pourtour et cet effet se dissipera lorsque le contraste du pourtour est différent de celui de la cible.

Nous avons remarqué, dans l'expérience 4, que lorsque les barres du pourtour étaient orthogonales, l'effet de groupement était très léger voire absent. Ainsi, en plus de la différence de contraste nous allons rajouter une deuxième différence entre la cible et le pourtour qui concernera l'orientation. La deuxième hypothèse est que si les mécanismes sensibles au contraste sont indépendants des mécanismes sensibles à l'orientation, alors il n'y aura pas d'effet de groupement lorsque l'orientation du pourtour est orthogonale à celle de la cible quel que soit le niveau de contraste.

## **2. Méthode**

### **2.1. OBSERVATEURS**

Trois observateurs ont participé à cette expérience SF, SN, et RY. SN est un observateur expérimenté mais pas l'observateur SF. Les deux n'étaient pas conscients des objectifs de l'expérience. L'observateur RY est l'expérimentateur.

### **2.2. MATÉRIEL ET STIMULI**

Le matériel et les stimuli étaient identiques à ceux utilisés dans l'expérience 3.

### **2.3. PROCÉDURE**

Nous avons utilisé la même procédure que dans l'expérience 4. La tâche de l'observateur consistait à identifier l'orientation de la lettre E présentée seule ou entourée par des barres des quatre côtés. Toutes les caractéristiques physiques de la cible et du pourtour étaient identiques hormis le niveau de contraste qui différait aléatoirement d'un essai à l'autre. Le niveau de contraste de la cible variait selon le vecteur [1 2 3 4]. Par exemple, si la valeur du contraste de la cible était déterminée à 10% alors elle aurait les niveaux de contraste suivants : 10, 20, 30, et 40. La distance entre la cible et le pourtour était fixe et le contraste du pourtour était constant dans chacune des conditions. Nous avons étudié 25 conditions : deux orientations (identiques ou orthogonales) fois trois distances (30, 60 et 120 min.) fois quatre niveaux de contraste du pourtour (10, 20, 40 et 80%) plus une condition où la lettre E était présentée isolément.

## **3. Résultats**

Les résultats seront présentés de la manière suivante. D'abord, nous présenterons les

---

performances de bonnes réponses en fonction du contraste de la cible pour une condition d'orientation de la cible et du pourtour similaire. Ensuite, nous présenterons une condition d'orientation différente, les composants du pourtour étant verticaux et ceux de la cible étant horizontaux. Enfin, nous présenterons l'analyse des seuils de contraste d'identification pour les deux conditions d'orientation. Cette présentation suivra la même logique pour les trois distances de séparation étudiées (30, 60 120 min.).

### **3.1. DISTANCE DE SÉPARATION DE 30 MIN.**

#### ***3.1.1. Analyse des performances de la condition d'orientation identique***

Dans cette condition, les segments composant les barres du pourtour et ceux composant la cible sont orientés horizontalement. Les performances de bonnes réponses sont ajustées selon la formule de Weibull. Comme le montre la figure 81, les performances évoluent en fonction du contraste de la cible. Pour atteindre un niveau de réponse maximal, il a fallu augmenter le niveau de contraste de la cible à 100%. Malgré cette augmentation, les performances de bonnes réponses n'atteignent pas un niveau maximal de 85%, notamment lorsque le pourtour a un contraste de 80%.

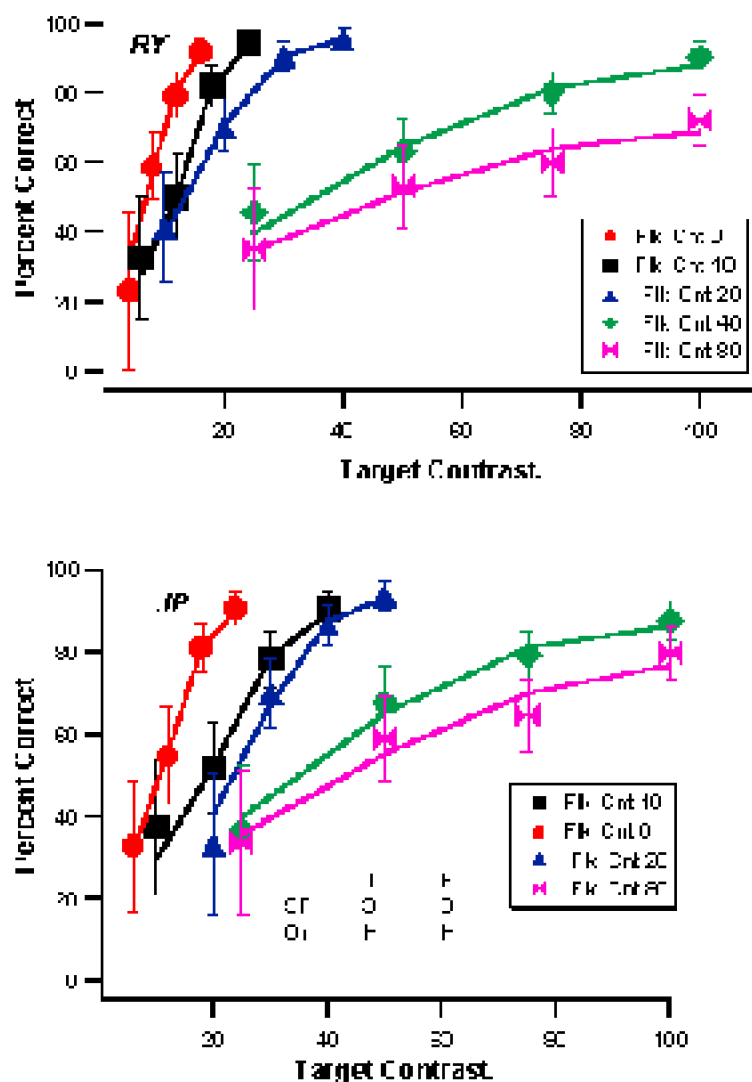
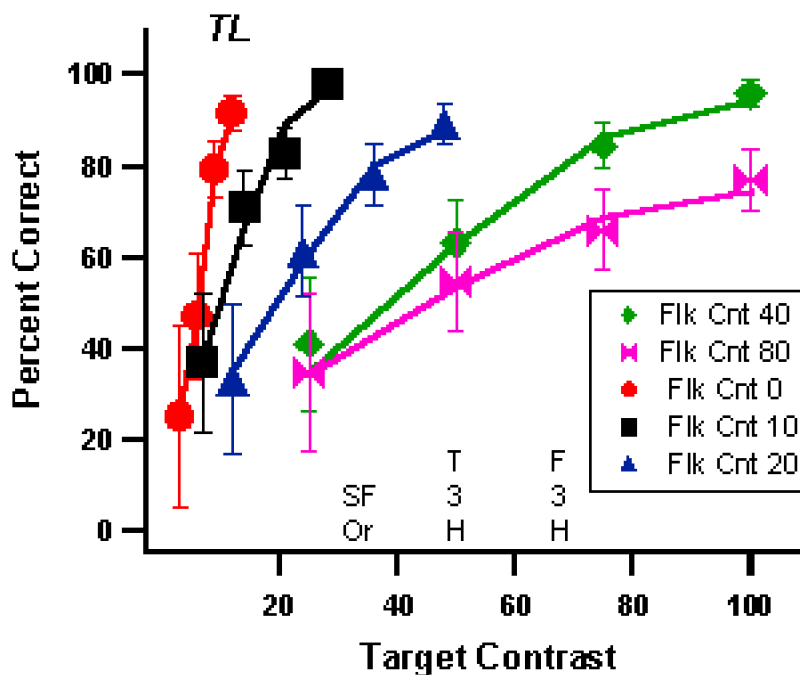


Figure 81. Représentation des performances de bonnes réponses en fonction du niveau de contraste de la cible. La séparation entre la cible et le pourtour est de 30 min. L'orientation des segments du pourtour et des segments de la cible est identique.



On observe que les courbes sont de deux types. Un premier type qui évolue rapidement et atteint un maximum de réponses correctes supérieures à 85%. Un deuxième type de courbes qui évoluent plus lentement et atteignent un niveau maximal de bonnes réponses inférieures à 85%.

Ces deux types de courbes sont dus au niveau de contraste des barres environnantes. En effet, lorsque ces dernières ont un niveau de contraste de 0, 10 ou 20%, le pourcentage de bonnes réponses évolue rapidement indiquant une rapide amélioration des performances en fonction de l'augmentation du contraste de la cible. En revanche, lorsque les barres ont un niveau de contraste de 40% ou de 80%, les performances de bonnes réponses évoluent lentement et atteignent un niveau de performances inférieur à celui du premier type.

### 3.1.2. Flancs verticaux

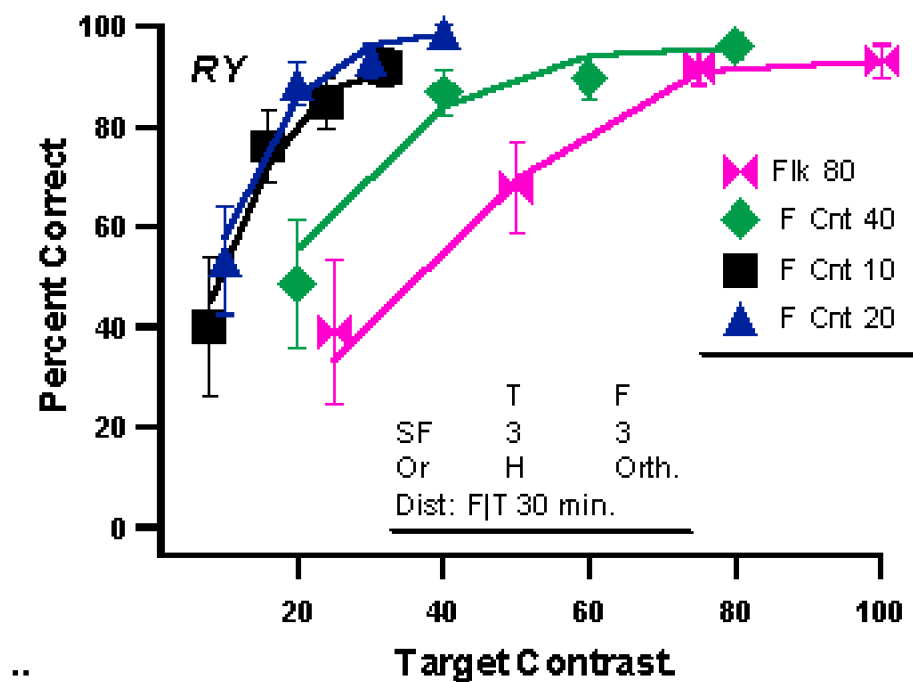
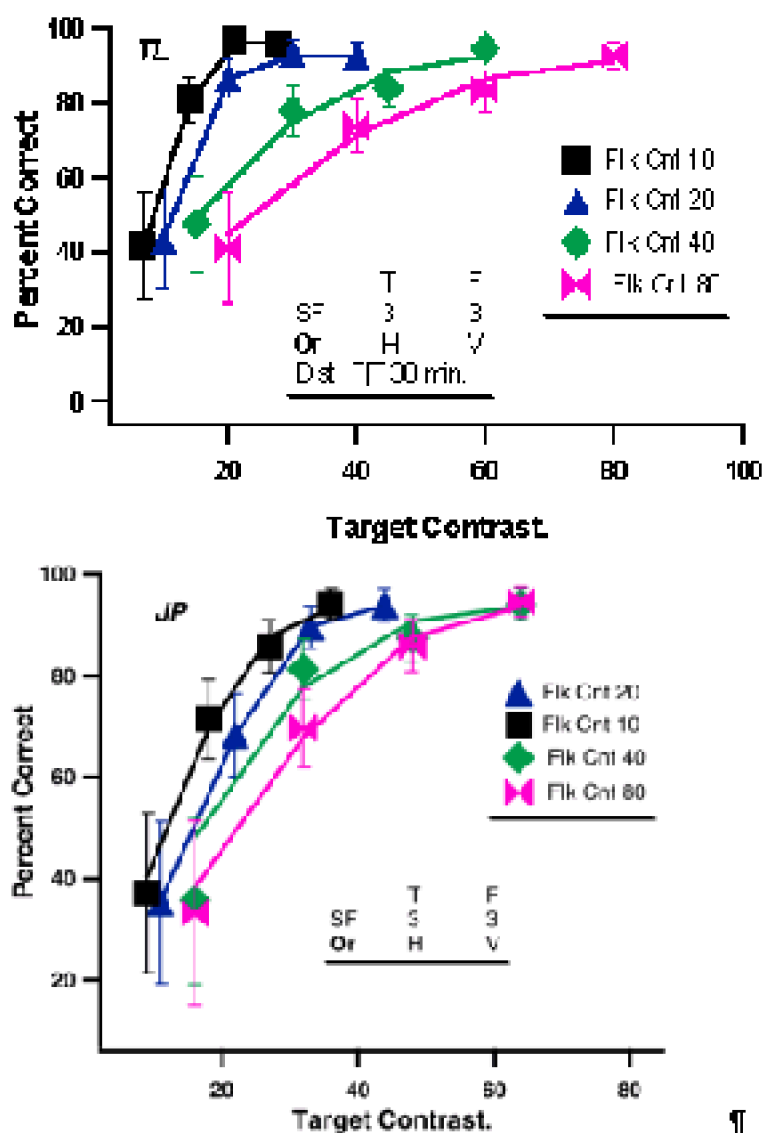


Figure 82. Représentation des performances de bonnes réponses en fonction du niveau de contraste de la cible. L'orientation du pourtour est verticale



Dans cette condition, les segments du pourtour étaient orientés verticalement tandis que les segments de la cible étaient orientés horizontalement.

Comme le montre la figure 82, les performances s'améliorent en fonction de l'augmentation du niveau de contraste de la cible. Contrairement aux résultats de l'orientation identique, lorsque les barres ont un niveau de contraste de 40 et 80%, les performances atteignent un niveau supérieur à 85% de bonnes réponses. A noter que la courbe psychométrique des bonnes réponses s'étale sur un niveau de contraste plus bas que celui de la condition d'orientation identique.

### 3.1.3. Seuil de contraste

La figure 83 représente les seuils de contraste dans deux conditions. On observe que le seuil de contraste qui permet l'identification de l'orientation du E continue à augmenter en fonction du contraste du pourtour indiquant une difficulté à traiter la cible lorsque le pourtour a un contraste plus élevé.

La fonction de puissance permet d'évaluer la valeur de la pente (i.e., l'exposant  $b$ ) sur une échelle log-log afin de juger la rapidité de l'évolution du seuil de contraste d'identification de la cible en fonction du contraste du pourtour.

$$Y = a * x^b$$

$$\log(y) = \log(a) + b * \log(x)$$

où  $a$  est une constante et  $b$  est l'exposant qui régle l'évolution de  $y$  en fonction de l'augmentation de  $x$ .

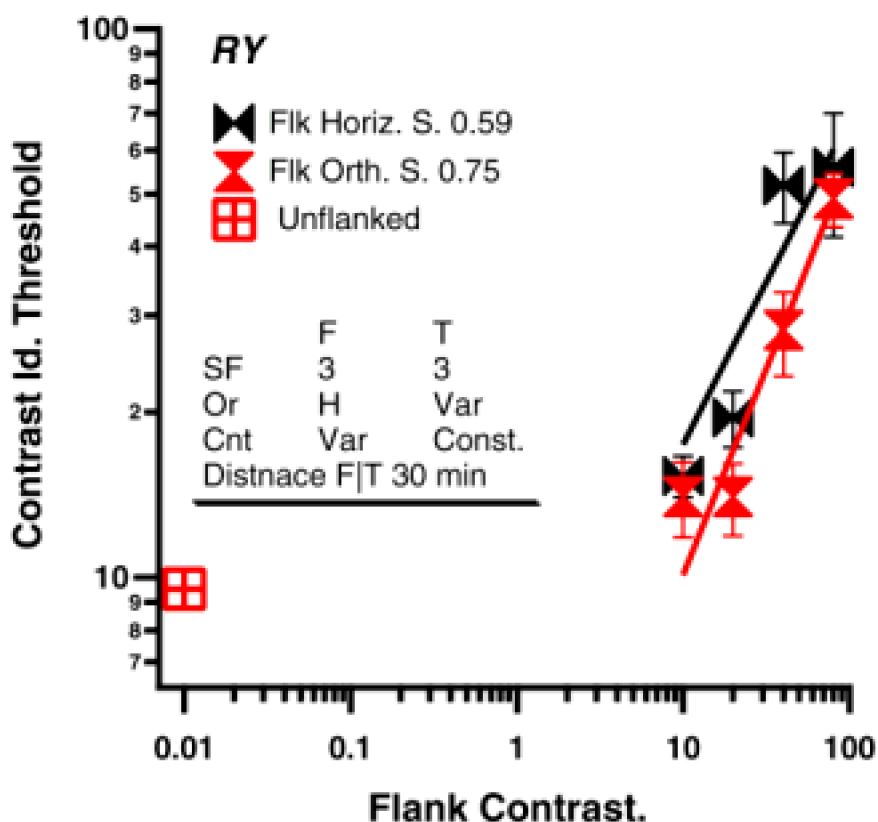
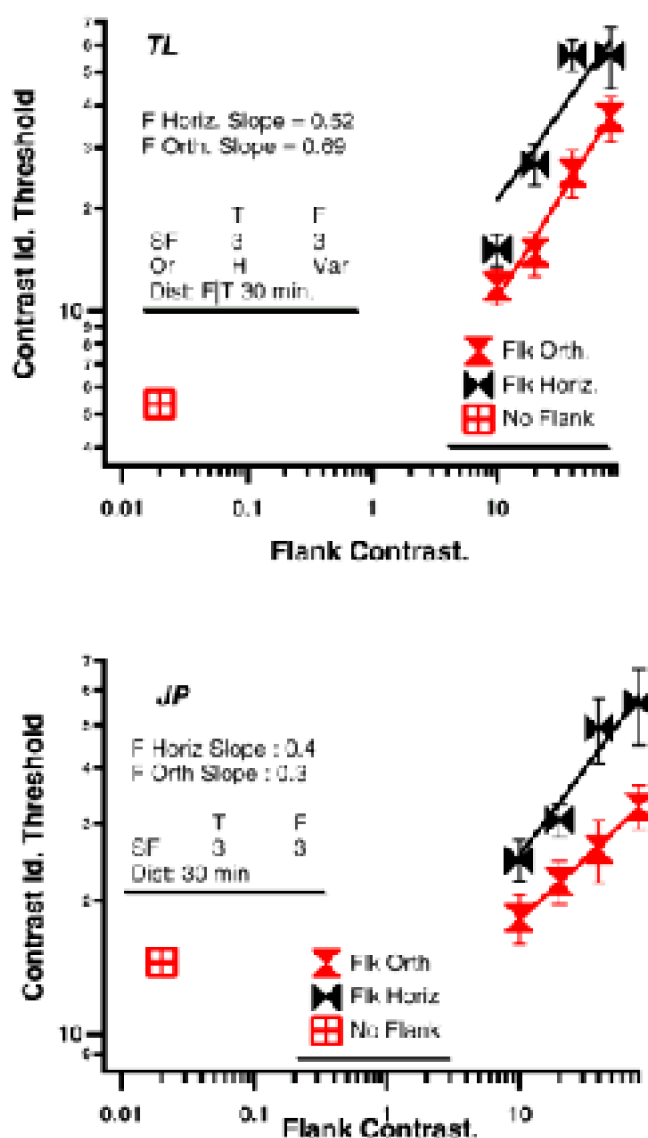


Figure 83. Représentation des seuils de contraste de l'identification (Contrast Id. threshold, en anglais) de l'orientation de la lettre en fonction du contraste du pourtour (Flank contrast, en anglais).





Le tableau 18 donne les valeurs des exposants dans les deux conditions d'orientation. L'exposant est la valeur de l'augmentation des niveaux de contraste permettant l'identification de l'orientation du E en fonction de l'augmentation du contraste des éléments du pourtour.

**Tableau 18.** Valeurs des pentes pour les deux conditions d'orientation des flancs : horizontale ou verticale.

	RY	TL	JP	Moyenne
F. Horizontal	0.59	0.52	0.4	0.5
F. Vertical	0.75	0.69	0.3	0.58

La valeur de l'exposant qui régle l'évolution des niveaux de contraste de l'identification de la cible en fonction du contraste du pourtour de la condition cible et pourtour similaires est de 0.5. Ceci indique une influence importante du contraste du pourtour sur l'identification de la cible. Les résultats concernant la condition du pourtour orienté verticalement, sont surprenants. En effet, la fonction de puissance est de 0.58 en

vertu de la loi du droit d'auteur.

moyenne, ceci signifie une très forte influence sur l'identification de la cible. A noter que dans l'expérience 4 l'effet de groupement était très léger voire absent lorsque le pourtour était orienté orthogonalement.

Ce résultat peut être dû au fait que la cible et le pourtour sont proches. En effet, la distance de 30 min. équivaut à trois écart-types (trois segments Gabor). Ceci signifie que les segments des barres et ceux de la cible se touchent. Afin de mesurer l'ampleur de l'effet de contraste à une distance de séparation plus large et de vérifier si l'influence du contraste dans la condition d'orientation orthogonale est restreinte à la séparation de 30 min. ou bien elle suit un continuum, nous avons effectué la même expérience en fixant une séparation plus large de 60 min. d'arc.

### **3.2. DISTANCE DE SÉPARATION DE 60 MIN.**

#### ***3.2.1. Analyse des performances de la condition identique***

La figure 84 représente le pourcentage des bonnes réponses en fonction des niveaux de contraste de la cible.

La courbe rouge représentant la condition d'une cible présentée isolément est représentée pour les observateurs SF et SN mais pas pour RY. En effet, les deux observateurs SF et SN sont de nouveaux participants dans cette expérience. Nous avons mesuré leurs performances dans la condition d'une présentation isolée de la lettre E, les barres du pourtour avaient un niveau de contraste 0.

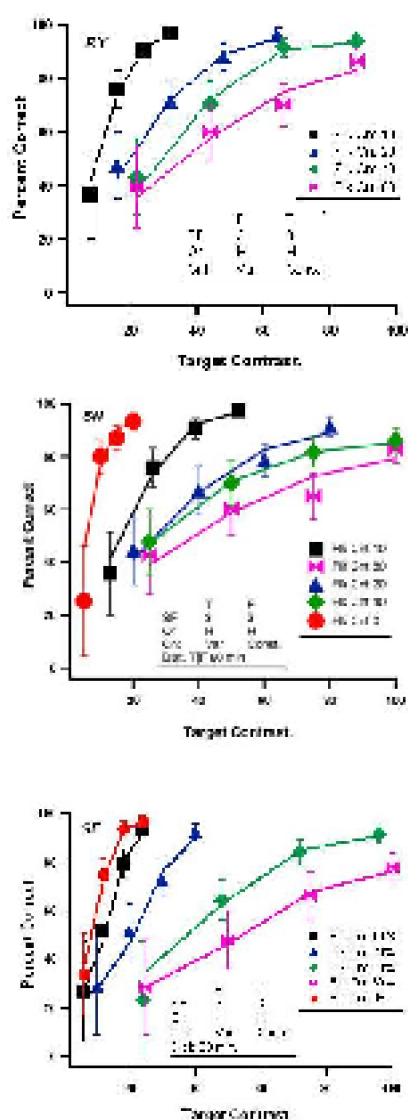


Figure 84. Représentation des performances de bonnes réponses en fonction du niveau de contraste de la cible. La distance de séparation est de 60 min. La cible et le pourtour ont une orientation similaire.

### 3.2.2. Orientation verticale du pourtour

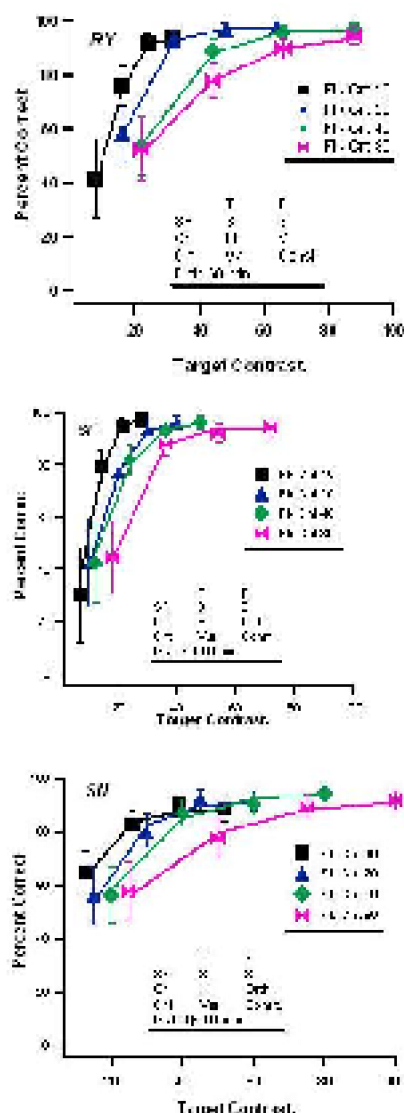


Figure 85. Représentation des bonnes réponses en fonction du niveau de contraste de la cible. La séparation est de 60 min. et l'orientation du pourtour est verticale.

Comme le montre la figure 85, les performances de bonnes réponses évoluent en fonction des niveaux de contraste de la cible. Les performances évoluent plus rapidement et atteignent un niveau maximal de bonnes réponses plus important que celui réalisé dans la condition d'orientation identique.

### 3.2.3. Analyse des seuils de contraste

Les seuils de contraste d'identification dans les deux conditions évoluent en parallèle, la courbe du pourtour vertical étant inférieure à celle du pourtour identique. Ceci indique que lorsque le pourtour est vertical (orthogonal dans ce cas) l'observateur a besoin d'un moindre contraste pour identifier la lettre E. Cependant l'effet de groupement est toujours important, notamment lorsque les barres du pourtour ont un contraste de 40 ou 80%. Ce résultat reste surprenant, car la distance de séparation est de 60 min.

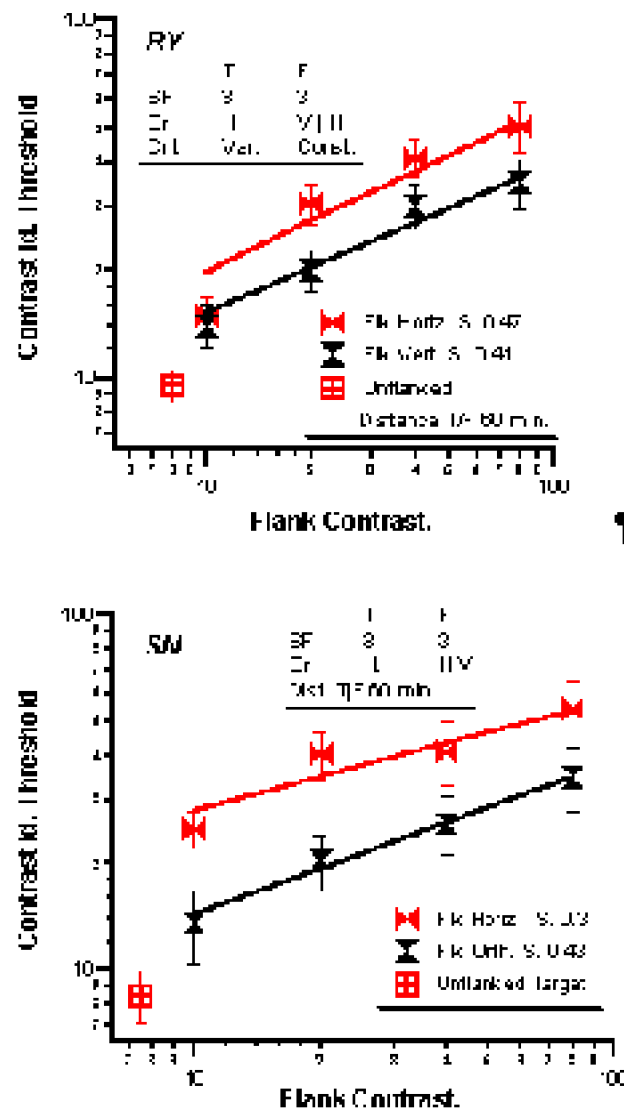
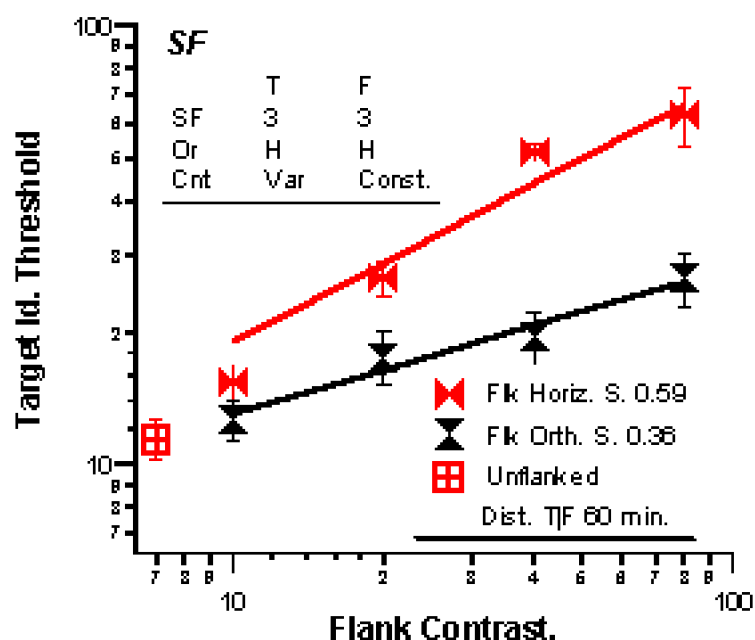


Figure 86. Représentation des seuils de contraste ayant permis d'identifier la cible pour les deux conditions d'orientation.



Les valeurs de corrélation entre les seuil d'identification et les niveaux de contraste du pourtour sont présentées dans le tableau 19. Ces valeurs sont plus basses que celles de la distance de séparation de 30 min.

**Tableau 19. Valeurs des pentes pour les trois observateurs. La distance séparant la cible du pourtour est de 60 min. F signifie flancs, Horiz. signifie orientation horizontale et Vert. signifie orientation verticale des segments du pourtour.**

	RY	SF	SN	Moyenne
F. Horiz.	0.47	0.59	0.3	0.45
F. Vert.	0.4	0.36	0.43	0.39

Nous allons poursuivre la mesure de l'effet de groupement en augmentant la séparation entre la cible et son pourtour. L'objectif de cette nouvelle expérience est de vérifier si l'effet de groupement est un continuum. Nous nous posons la question suivante : quelle est la valeur de la corrélation entre le seuil de contraste d'identification de la cible et le contraste du pourtour lorsque la séparation entre la cible et le pourtour est de 120 min. ?

### **3.3. DISTANCE DE SÉPARATION DE 120 MIN.**

#### ***3.3.1. Analyse des performances de la condition d'orientation identique***

La même expérience est réalisée en séparant la cible du pourtour par une distance de 120 min. L'orientation de la cible et du pourtour est identique. Les performances continuent à évoluer en fonction du contraste de la cible. Lorsque le contraste du pourtour est de 40 ou 80%, les performances sont plus basses que lorsqu'il est de 10 ou 20%.

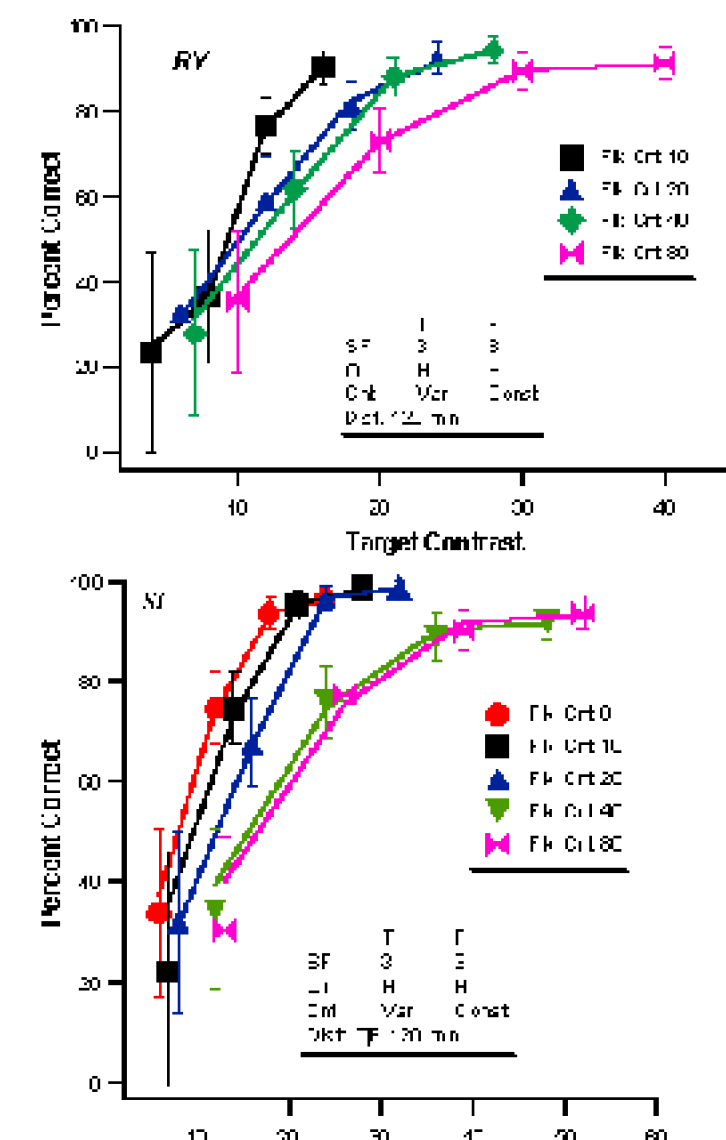


Figure 87. Représentation des performances de bonnes réponses en fonction du niveau de contraste de la cible. La distance de séparation est de 120 min. et l'orientation de la cible et du pourtour est similaire.

Il à noter que la fonction psychométrique s'étale sur un contraste inférieur à 55%. Il est clair que l'identification de l'orientation de la cible nécessite moins de contraste que dans les conditions des distances précédentes (30 et 60 min.).

### 3.3.2. Orientation Verticale

La même distance sépare la cible du pourtour mais dans cette condition l'orientation du pourtour est orthogonale à celle de la cible. Les performances évoluent en fonction du contraste du pourtour. Contrairement à la condition précédente, les courbes des quatre conditions sont plus proches les unes des autres et s'étalent sur une gamme de niveaux de contraste plus basse.

### 3.3.3. Seuil de contraste

Le seuil de contraste nécessaire pour l'identification de la cible augmente en fonction du contraste du pourtour. Cette augmentation est très légère et indique une légère influence du contraste du pourtour sur l'identification de la cible.

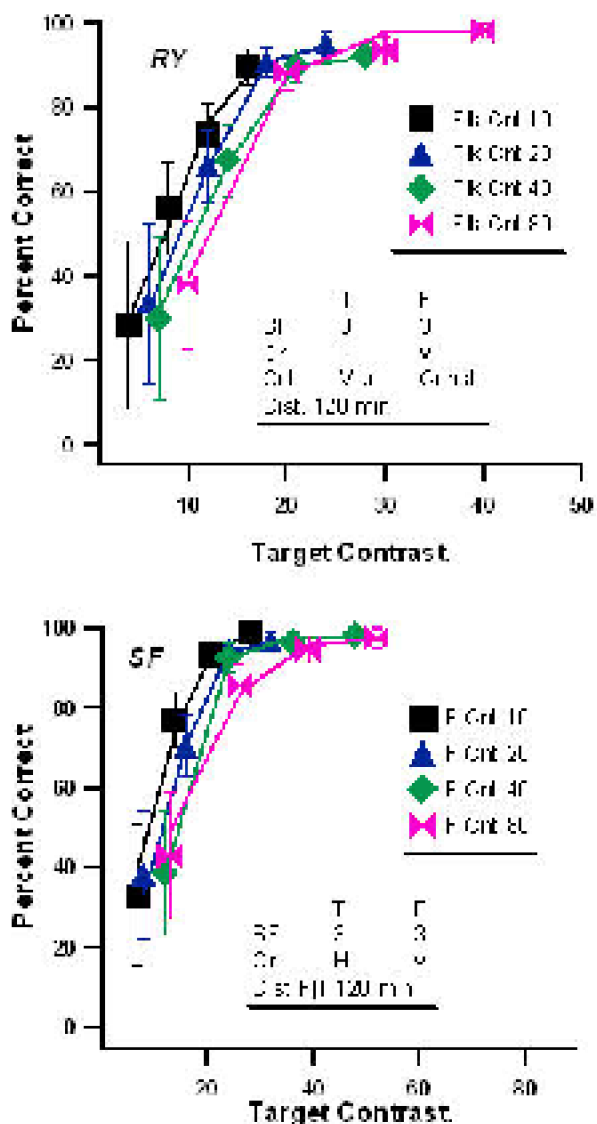


Figure 88. Représentation des performances de bonnes réponses en fonction de la cible. La distance de séparation est de 120 min. et l'orientation du pourtour est verticale.



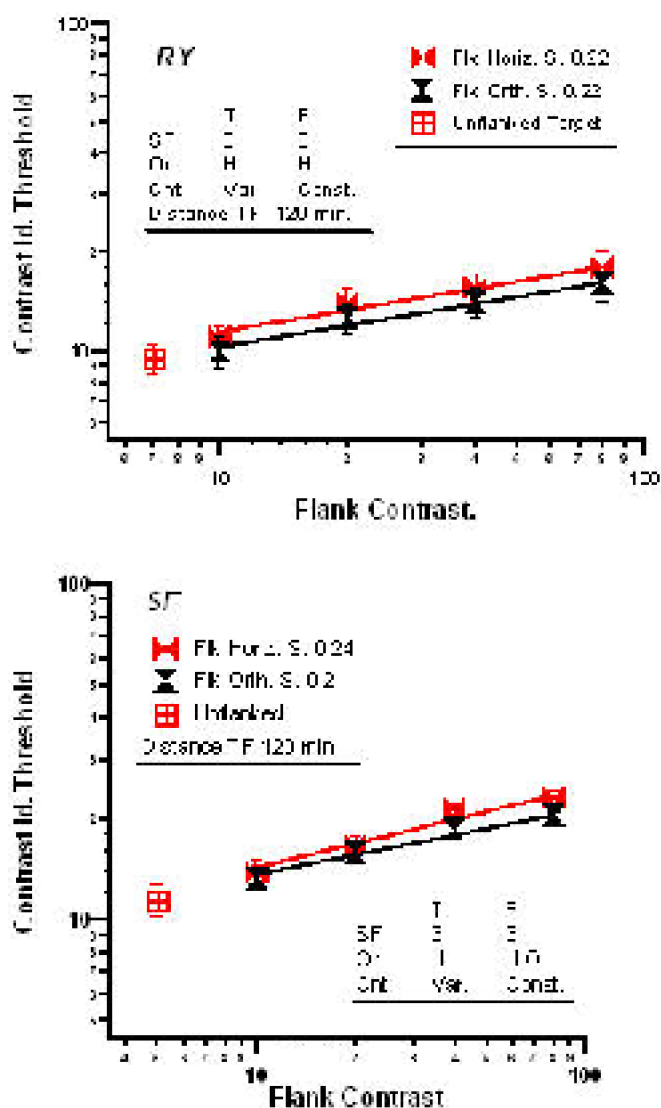


Figure 89. Représentation des seuils d'identification en fonction du contraste des flancs. Deux conditions d'orientation, une orientation identique et une orientation orthogonale des éléments du pourtour. La distance de séparation entre la cible et le pourtour est de 120 min.

L'exposant qui module l'augmentation du niveau de contraste nécessaire pour l'identification de la cible E en fonction du contraste du pourtour est de 0.23 en moyenne dans la condition d'orientation identique et il est de 0.21 dans la condition d'orientation orthogonale.

Tableau 20. Valeurs des pentes pour les deux observateurs. La distance séparant la cible du pourtour est de 120 min. F signifie flancs, Horiz. signifie orientation horizontale et Vert. signifie orientation verticale des segments du pourtour.

	RY	SF	Moyenne
F. Horiz	0.22	0.24	0.23
F. Vert.	0.22	0.2	0.21

#### **4. Conclusion : effet de groupement et contraste**

Le haut niveau de contraste des éléments du pourtour a un effet inhibiteur sur les mécanismes traitant la cible présentée au centre d'un ensemble de quatre barres. Cet effet ne suit pas la loi du tout ou rien, mais plutôt un continuum. Nous avons observé un effet de groupement dans les trois distances de séparation entre la cible et le pourtour. Cet effet diminue en fonction des distances séparant la cible du pourtour. Nous concluons que la similarité entre les caractéristiques physiques de la cible et du pourtour n'est pas le seul facteur qui provoque un effet de groupement. La différence entre les niveaux de contraste des deux composantes du stimulus a un rôle dans l'augmentation de la difficulté de discrimination d'une cible présentée dans un environnement chargé. Lorsque le pourtour a un niveau de contraste maximal de 80%, le contraste nécessaire pour discriminer la cible est systématiquement plus élevé.

En observant les figures 83, 86 et 89, nous remarquons une baisse continue des pentes dans les deux conditions d'orientation. A noter aussi que les courbes des contrastes seuils d'identification en fonction des niveaux de contraste du pourtour des deux conditions de l'orientation se rapprochent en fonction des distances de séparation.

#### **ORIENTATION IDENTIQUE**

Lorsque les éléments de la cible et ceux du pourtour ont les mêmes caractéristiques physiques, l'effet de groupement augmente en fonction du contraste du pourtour. En effet, le seuil le plus élevé est systématiquement celui de la condition d'un contraste maximal du pourtour (80%). Les valeurs des pentes du contraste de l'identification de la cible en fonction du contraste du pourtour baissent en fonction des distances séparant les deux composantes du stimulus. Par exemple, dans les trois distances de séparation entre la cible et le pourtour [30, 60 et 120 min.] les pentes du contraste d'identification de la cible en fonction du niveau de contraste du pourtour de l'observateur RY étaient [0.59, 0.47 et 0.22 min.]. Cet effet est plus important que celui signalé dans l'étude de Chung et al. (2001) qui ont observé une pente de 0.24. Dans leur étude, les stimuli étaient des lettres sinusoïdales. Il est possible qu'une activation plus limitée des canaux visuels par des segments gabor provoque un effet de groupement plus important en fonction du contraste du pourtour.

Nous suggérons que l'effet de groupement est provoqué par des connexions inhibitrices entre mécanismes sélectifs à des niveaux de contraste différents (Cannon & Fullenkamp, 1991). Ce résultat est cohérent avec celui observé par Kooi et al. (1994). Ces auteurs ont observé une étendue de l'effet de groupement très importante lorsque le pourtour avait un niveau de contraste de 2.8 fois supérieur à celui de la cible. Leurs résultats ont montré que l'étendue de la condition de contraste de pourtour identique était de 4° et celle de contraste supérieur était de 5°.

#### **EFFET DE FACILITATION**

L'effet de facilitation est définie comme la baisse du seuil lorsque les éléments du

pourtour sont présents en comparaison à la condition où la cible est présentée isolément. Cet effet a été observé en vision fovéale. En effet, ces auteurs ont observé que le seuil de détection de la cible **baissait** en présence des éléments du pourtour à une distance très proche. En comparant les seuils de la présentation isolée de la lettre E avec ceux de la lettre présentée entourée par les quatre barres nous n'avons remarqué aucune facilitation. Nous suggérons que l'effet de facilitation dans le phénomène de groupement est un effet spécifique à la vision fovéale et il est absent dans la vision périphérique.

### **ORIENTATION ORTHOGONALE**

Lorsque les segments du pourtour sont orthogonaux à ceux de la cible, l'effet de groupement est parallèle à celui qui est provoqué par des segments ayant une orientation identique et s'effectue à un niveau de contraste inférieur (cf. figures 83, 86 et 89).

Lorsque le contraste et l'orientation sont des attributs différents, l'effet de groupement continue à se manifester. Ce résultat nous laisse supposer que les mécanismes sensibles au contraste reçoivent des entrées inhibitrices provenant des mécanismes sélectifs à des orientations différentes et vice versa.

Nous proposons aussi que l'effet de groupement dans cette condition (deux attributs différents : orientation et contraste) est dû en partie à un facteur attentionnel. En effet, comme l'a proposé Treisman et al. (1980), un élément différant par une conjonction d'attributs est plus difficile à distinguer qu'un élément ne différant que par un seul attribut.

Les interactions inhibitrices à travers les mécanismes assurant la perception du contraste existent sur de larges distances et s'étendent jusqu'à 120 min. Les différents types d'interactions observés dans notre étude impliquent un réseau très complexe de connexions entre les mécanismes sélectifs au contraste et à l'orientation.

## **Conclusion générale concernant la partie du phénomène de groupement**

L'agrandissement cortical n'élimine pas l'effet de groupement en périphérie. Le stimulus étudié dans notre expérience mesurait 5 fois 5 degrés. Lorsque la cible était présentée isolément les performances de bonnes réponses étaient supérieures à 85%. La présence d'éléments avoisinants provoquait une baisse drastique des performances de bonnes réponses.

### **Similarité ou différence?**

L'effet de groupement dépend de la **similarité** entre les caractéristiques physiques de la cible et ceux du pourtour. Ce résultat rejoint un corps de données observées dans de nombreuses études (Bouma, 1970 ; Estes, 1982 ; Chubb et al., 1989 ; Cannon & Fullenkump, 1993 ; Nazir, 1992 ; Toet & Levi 1992 ; Polat & Sagi, 1993).

Le nouveau résultat observé dans notre étude est que la **différence** entre les attributs physiques de la cible et ceux du pourtour joue un rôle dans l'effet de groupement. En effet, la différence des FS et du contraste a contribué à rendre plus difficile la

discrimination de l'orientation de la cible. Nous avons montré que lorsque les FS du pourtour étaient inférieures à celles de la cible l'effet de groupement se manifestait et suivait un continuum. Le haut niveau de contraste du pourtour a rendu plus difficile l'identification de l'orientation de la cible. Contrairement à l'étude de Chung et al. (2001), le contraste du pourtour a un impact sur celui nécessaire à la discrimination de la cible. Cet effet est supérieur par un facteur de deux par rapport à celui observé dans l'étude de Chung et al. (2001).

### **Orientation**

Plus l'orientation du pourtour est différente moins l'effet de groupement est important. En effet, une différence partielle (50% des segments sont orientés de façon identique et 50% sont orientés orthogonalement) produit un effet de groupement plus important que l'effet produit par un pourtour ayant une orientation totalement orthogonale. Les résultats obtenus par Cannon et Fullenkamp (1991) et Polat et Sagi (1993) ont montré une baisse de l'effet de groupement en fonction de la différence d'orientation du pourtour par rapport à l'orientation de la cible. Dans leur étude, la baisse de l'effet de groupement suivait une évolution graduelle et se manifestait à partir d'une différence d'orientation de 15°. Dans notre expérience, nous avons montré que l'effet de groupement est dépendant du nombre d'éléments orientés orthogonalement. En effet, l'effet de groupement est plus important dans la condition où 50% des segments sont orientés orthogonalement en comparaison à la condition où tous les segments sont orthogonaux.

### **fréquences spatiales**

Nos résultats montrent que lorsque les barres du pourtour ont des FS inférieures d'une octave à ceux de la cible, l'effet de groupement est maximal et il est équivalent à celui de la condition identique. Ce résultat ne peut pas être dû à la visibilité, car dans une expérience portant sur des pourtours ayant une visibilité égale, les FS basses continuaient à provoquer un effet de groupement maximal. A notre connaissance, ce résultat n'a été observé dans aucune étude précédente. L'étude récente de Chung et al. (2001) a montré que l'élévation des seuils en fonction des FS du pourtour suivait une loi normale. Ceci signifie que l'effet de groupement est symétrique, c'est-à-dire que les FS supérieures ou inférieures à celles de la cible provoquent un même effet de groupement. Les stimuli utilisés dans leur étude étaient des lettres sinusoïdales. Nous concluons que l'effet de groupement est plus important lorsque les FS du pourtour sont inférieures à celles de la cible lorsque les canaux visuels sont activés par des stimuli de bandes limitées tels que ceux utilisés dans notre étude.

### **Facilitation ou inhibition?**

La facilitation signifie que les éléments du pourtour permettent une meilleure discrimination de la cible que lorsque cette dernière est présentée isolément. Plusieurs études ont montré un effet de facilitation en vision fovéale lorsque les éléments avoisinaient la cible. Dans une tâche de détection d'un segment jouté par deux autres segments gabor en vision centrale, Polat et Sagi ont trouvé deux zones d'interaction entre

la cible et le pourtour. Une zone **inhibitrice**, où la présence du pourtour baisse les performances du sujet, qui s'étend sur 2 fois la largeur du segment (4.5 min. environ). Une autre zone de **facilitation** qui s'étend sur 10 fois la largeur du segment (45 min. environ).

Un profil spécifique de probabilité de bonnes réponses a été observé par Flom et al. et par Danilova et Bandarko (2000) dans une tâche d'identification de l'orientation de la brisure du C de Landolt entouré par des barres. Lorsque la séparation entre la cible et les barres était de 0 les performances étaient meilleures que lorsque la séparation était d'une minute d'arc (cf. figure 73, point x et y).

Nous n'avons observé aucun effet de facilitation tout au long de notre expérience sur l'effet de groupement en vision périphérique. Nous n'avons pas observé de profil de probabilité de bonnes réponses semblable à celui observé par Flom et al. (1963), par Danilova et Bandarko (2000), par ). Ces résultats argumentent en faveur d'une différence **qualitative** entre la vision centrale et la vision périphérique.

### **Différence entre vision centrale et vision périphérique**

Les résultats de l'expérience sur l'effet de groupement permet de parler en terme de **différence qualitative** entre fovéa et périphérie. En effet, lors d'une expérience pilote sur l'effet de groupement en vision centrale, nous n'avons observé aucun effet de groupement en vision centrale, même avec des tailles infiniment petites. Levi (2000) n'a pas observé d'effet de groupement en fovéa en utilisant un stimulus structuré de segments gabor. Il a observé un léger effet lorsqu'une partie des segments gabor de la cible et du pourtour se chevauchaient. Dans cette situation on ne peut pas parler d'un effet de groupement mais plutôt d'un effet intermédiaire entre le masquage<sup>13</sup> et l'effet de groupement. Leat et al. (1999) n'ont pas observé d'effet de groupement en fovéa lorsque le stimulus était une lettre E entourée par des barres. En revanche, en périphérie rétinienne ce même stimulus a provoqué un effet de groupement.

### **Attention et effet de groupement**

Kooi et al. (1994) ont étudié deux situations. Dans la première, les flancs T étaient présentés de façon fixe (i.e., dans tous les essais les flancs T avaient la même orientation). Dans la deuxième condition, les T autour de la cible étaient présentés de façon aléatoire. Les résultats ont montré que l'effet de groupement est identique dans les deux conditions. Ces résultats vont à l'encontre de ceux observés par Leat et al. (1999) qui ont trouvé que la présentation aléatoire des éléments du pourtour provoquait une baisse des performances de bonnes réponses plus importante qu'une présentation fixe. La seule explication plausible est l'impact d'un facteur attentionnel, puisque les lettres utilisées dans l'étude de Leat et al. (1999) étaient plus chargées (E) et les celles utilisées dans l'étude de Kooi et al. (1994) étaient moins chargées (T).

Dans notre étude, l'impact d'un facteur attentionnel se manifeste à travers les seuils

<sup>13</sup> Dans le masquage l'élément distracteur est superposé à la cible, contrairement à l'effet de groupement où les éléments distracteurs jouxtent la cible.

de distance lorsque la moitié des éléments du pourtour sont partiellement orthogonaux à ceux de la cible. En effet, l'étendue de l'effet de groupement est supérieur à la moitié de celle provoquée par les éléments ayant une orientation identique.

*En résumé*, en vision périphérique, la force des connexions inhibitrices entre chaque paire de mécanismes traitant la cible et le pourtour dépend des différences entre les fréquences spatiales, l'orientation et le contraste. Ces connexions sont complexes et nécessitent une meilleure compréhension.

## Chapitre 4. Apprentissage perceptif

### 1. Introduction

---

La vision périphérique est très sensible à l'effet de pratique (Fendick & Westheimer, 1983; Johnson & Leibowitz, 1974; McKee & Westheimer, 1978). Des effets d'apprentissage ont été remarqués en vision périphérique chez des observateurs normaux (Westheimer, 1982) et en vision centrale chez des observateurs amblyopes. Par exemple, Levi et Klein (1985) ont remarqué qu'après une période d'apprentissage, le seuil de distance baisse de 40% dans une tâche vernier chez un observateur amblyope. En vision périphérique des observateurs normaux, certaines tâches visuelles telles que la discrimination de l'orientation, la bissection et l'acuité vernier s'améliorent, en fonction des sessions, par un facteur de trois (Schoups et al., 1995 ; Crist, Kapadia, Westheimer & Gilbert, 1997). Dans une étude récente, Westheimer (2001) a observé une amélioration des performances de 50% dans une tâche de vernier réalisée à une excentricité de 5°.

En vision fovéale, les mêmes tâches s'améliorent au long de la première centaine d'essais (Fahle, Edelman & Poggio, 1995), mais il n'y a pas d'arguments en faveur d'une amélioration très soutenue (Bennett & Westheimer, 1991). Dans une tâche visuelle de jugement de disparité entre deux carrés, Fendick et Westheimer (1983) ont observé une amélioration de 70% en vision périphérique de 2.5° et 5° et une amélioration de 48% seulement en vision fovéale.

Jusqu'à présent l'apprentissage perceptif était mesuré par l'amélioration des performances et/ou de la sensibilité de l'observateur. Ces deux mesures ne permettent pas de déterminer les indices utilisés par l'observateur lors de son apprentissage. Elles ne permettent pas non plus de connaître le prototype appris par celui-ci. Par conséquent, nous proposons une technique innovante inspirée de celle de l'image de classification (Ahumada, 1996) afin de permettre une comparaison entre l'apprentissage perceptif en vision centrale et l'apprentissage perceptif en vision périphérique. Cette technique propose que le bruit donne des indications sur la façon dont l'observateur traite le signal. Ceci permet de déterminer le prototype utilisé par l'observateur pour détecter ou discriminer un signal.

Le premier objectif de cette étude est de mettre en évidence le phénomène de

---

l'apprentissage perceptif dans la perspective de l'étudier en vision fovéale et en vision périphérique. Dans la présente étude nous étudions uniquement la vision fovéale. Notre deuxième objectif est d'étudier le développement de l'acquisition d'un prototype inconnu. Les observateurs doivent apprendre un signal inconnu à partir d'indices fournis par un feed-back tout au long de plusieurs essais. Pour suivre l'évolution d'un tel apprentissage, nous avons employé la technique d'image de classification (Ahumada, 1996). Cette technique a l'avantage de permettre l'identification des indices employés par l'observateur lors des jugements perceptifs. Ainsi, nous espérons suivre l'évolution de l'acquisition d'un prototype.

## **2. Méthode générale**

---

Les trois expériences abordant le thème de l'apprentissage perceptif ont été réalisées au laboratoire de l'INSERM U.371 Cerveau et Vision (Bron).

### **2.1. Observateurs**

Dix observateurs ont participé dans les 3 expériences suivantes. Ils ont tous une vue normale ou corrigée à la normale. Deux observateurs (RY, KK) étaient au courant des objectifs de l'expérience et connaissaient le stimulus qu'ils devaient détecter. Les huit autres ne connaissaient ni les objectifs de l'expérience ni le stimulus qu'ils devaient détecter.

### **2.2. Matériel**

Nous avons utilisé le même matériel que dans l'expérience 1.

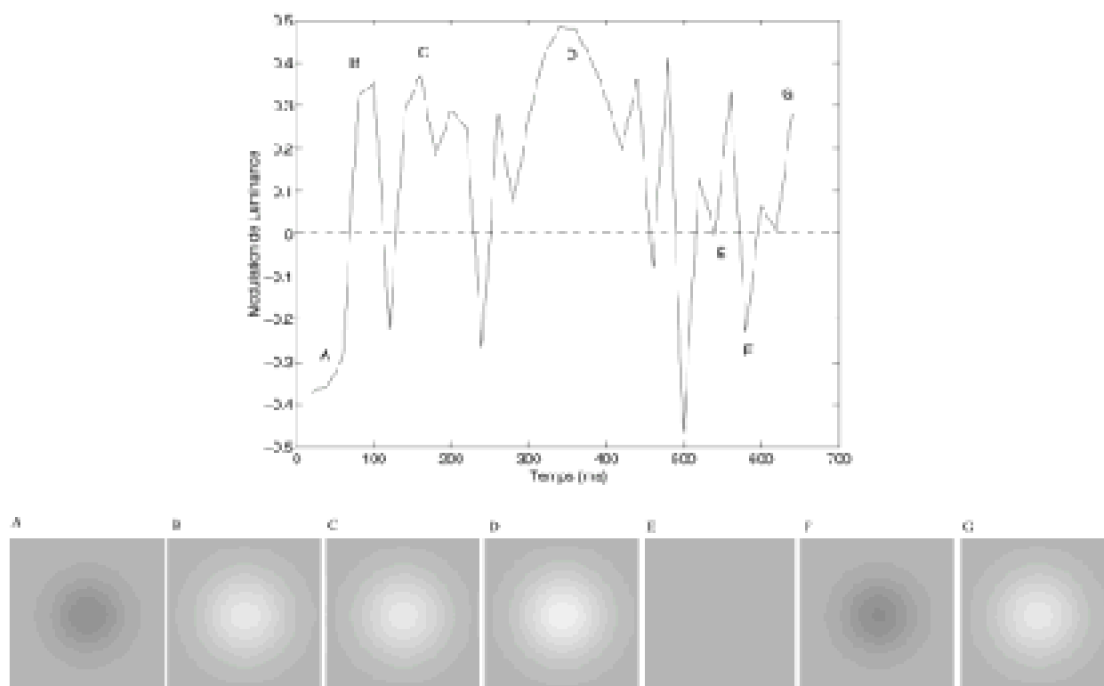


Figure 90. Exemple d'un signal bruité. Le niveau zéro représente le niveau de luminance de l'écran (ligne discontinue). Le niveau de luminance du stimulus varie aléatoirement entre un niveau supérieur et un niveau inférieur à la luminance moyenne de l'écran. Les images en bas de la figure représentent les flashes lumineux correspondant aux sept points sur la courbe (cf. les lettres). L'observateur idéal a donné un indice de corrélation très élevé à ce signal en le comparant au prototype représenté dans la figure 93.

### 2.3. Stimuli

Le stimulus était une **modulation aléatoire de luminance** (MAL). Ce dernier était défini comme une séquence composée de 32 images variant de façon aléatoire entre un niveau inférieur ( $L_i$ ) et un niveau supérieur ( $L_s$ ) à la luminance moyenne de l'écran ( $L$ ) (cf. figure 90). Cette séquence de modulation de la luminance était calculée selon la formule suivante :

$$MAL = c * L * (0.5 * U[0, 1] - 1) \quad (18)$$

où  $U[0, 1]$  est une valeur aléatoire répartie uniformément entre 0 et 1 et  $c$  est égal à  $L_s - L_i$  et représente l'étendue sur laquelle la luminance aléatoire était choisie.

La figure 90 montre un exemple d'une série de 7 images prises dans une série de 32. La distribution des images est aléatoire en fonction du temps. En effet, la modulation de la luminance représentée sur la figure 90 passe d'un niveau de luminance de  $-0.45$  (A), à  $0.33$  (B) à  $+0.35$  (C), à  $+0.47$  (D) à  $0$  (E), à  $+0.35$  (F) et enfin à  $+0.3$  (G). Il est à signaler que les signes positifs et négatifs des valeurs précédentes sont relatifs au niveau de la luminance moyenne de l'écran. Chacune des 32 images, constituant le stimulus, apparaissait pendant 20 ms. Ainsi, l'ensemble des 32 images apparaissait pendant 640



ms.

## 2.4. Procédure

L'expérience débutait par une série d'instructions dont les premières indiquaient à l'observateur d'estimer sa certitude concernant la présence ou l'absence du signal sur une échelle de un à six. Pour ce faire, l'observateur devait placer ses doigts sur les boutons de la boîte de réponses. Chacune des positions des trois boutons indiquait un niveau donné sur une échelle d'estimation à 6 niveaux (cf. figure 91).

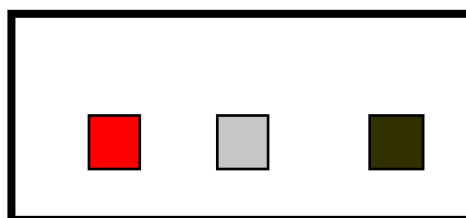


Figure 91. Boîte de réponses. Chacun des boutons correspond à deux niveaux de réponse selon qu'il soit poussé en haut ou en bas.

Les six niveaux de réponses étaient répartis de la manière suivante :

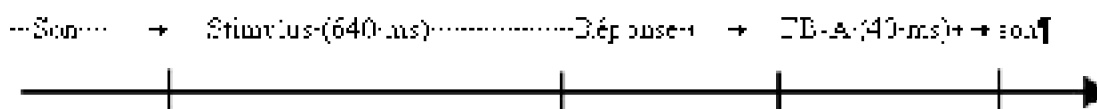


Figure 92. Diagramme des séquences des événements constituant un seul essai.

Le feed-back sonore était donné selon une valeur attribuée par l'observateur idéal, décrit ci-dessous, en fonction de la corrélation entre le prototype et le stimulus présenté.

## 3. Analyse

### 3.1. Décision de l'observateur idéal

Afin de décider si un signal était présent ou absent, l'observateur idéal calculait le produit scalaire entre les valeurs de luminance du stimulus et celles du prototype qui lui a été attribué:

$$D = \sum MAL(t) \cdot P(t) \quad (19)$$

où  $D$  est la variable de la décision,  $MAL$  est la modulation aléatoire de luminance (i.e., le stimulus),  $t$  est le temps d'apparition de chacune des images qui compose le stimulus et  $P$  est le prototype.

Lorsque  $D$  était supérieur à zéro, l'observateur idéal décidait que le signal était présent, lorsque  $D$  était inférieur, l'observateur idéal décidait que le signal était absent. Par exemple, si le prototype attribué à l'observateur idéal était une suite de flashes lumineux distribués selon une gaussienne (cf. figure 93), et qu'on lui présentait un signal bruité comme celui représenté dans la figure 90, alors il attribuera un indice de présence très élevé.

La valeur  $D$  suit une loi gaussienne avec une moyenne zéro et une variance  $\sigma^2$

$$\sigma^2_D = c^2/3 \sum P(t)^2 \quad (20)$$

Ceci nous a permis de programmer les niveaux de feed-back sonores selon des fréquences de distributions égales.

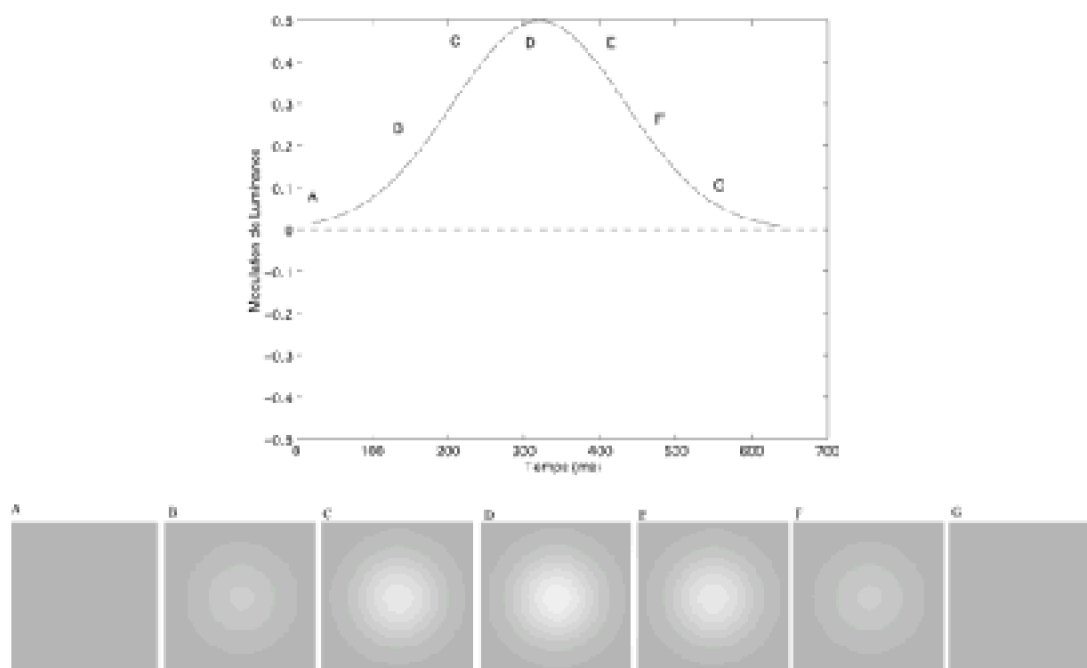


Figure 93. Représentation schématique d'une distribution gaussienne composée d'une série de sept images. La modulation de la luminance du signal commence à un niveau zéro (identique à celui de l'écran) (A), elle atteint un niveau maximal (D) puis revient progressivement à un niveau zéro (G).

Les réponses de l'observateur humain étaient classées en tant que présentes si elles étaient supérieures ou égales à 4 sur l'échelle de l'estimation et absentes si elles étaient inférieures à cette valeur. Ce classement des réponses de l'observateur humain ainsi que la valeur  $D$  permettaient de répartir les réponses selon quatre types : Détection Correcte (DC), Fausse Alarme (FA), Rejet Correct (RC) et Omission (O). L'image de classification était calculée à partir des moyennes des quatre types de réponses selon la formule suivante :

$$IC_{OH} = (\overline{DC} - \overline{O}) + (\overline{FA} - \overline{RC}) \quad (21)$$

où  $IC_{OH}$  est l'image de classification de l'observateur humain. Ainsi, en additionnant la différence entre la moyenne de DC et O d'une part et celle de la moyenne de FA et RC d'autre part on obtient l'image de classification de l'observateur. Après de nombreux essais, le prototype utilisé par l'observateur humain va émerger.

L'image de classification de l'observateur idéal ( $IC_{OI}$ ) était calculée par la différence entre la moyenne de ce qu'il a classé comme présent et la moyenne de ce qu'il a classé comme absent :

$$IC_{OI} = \overline{Présent} - \overline{Absent} \quad (22)$$

Comme le stimulus était bruité, nous ne pouvions pas le catégoriser en tant que présent ou absent. Ainsi, les classifications de l'observateur idéal servaient à indiquer la présence ou l'absence du signal. La comparaison entre la réponse de l'observateur idéal et la réponse de l'observateur humain nous a donné les 4 types de réponses de l'équation 21.

Nous avons calculé deux indices d'apprentissage. Le premier était la valeur de la sensibilité de l'observateur humain ( $d'$ ). Le second était une mesure de similarité entre l'image de classification de l'observateur humain et celle de l'observateur idéal. Cette similarité était calculée par le **cosinus** de l'angle séparant les deux profils de réponses utilisés par  $IC_{OI}$  et  $IC_{OH}$  considérées comme deux vecteurs.

A noter que le cosinus de l'angle correspond à 0 lorsque les deux vecteurs sont séparés par un angle de  $90^\circ$  ou de  $270^\circ$ . Lorsque l'angle séparant deux vecteurs est égale à  $0^\circ$ , le cosinus de l'angle correspond à 1. Lorsque les deux vecteurs sont séparés par un angle de  $180^\circ$ , le cosinus de l'angle est égale à -1. Dans cette dernière condition, les deux vecteurs sont anti-correlés. La formule permettant d'effectuer ce calcul est la suivante :

$$\cos(\theta) = (IC_{OI} \cdot IC_H) / (||IC_{OI}|| \cdot ||IC_H||) \quad (23)$$

où  $\cos$  est le cosinus,  $\theta$  est l'angle séparant les deux vecteurs, les points signalent qu'il s'agit d'un produit scalaire (la somme de la multiplication point par point entre les valeurs de luminance des deux vecteurs). Les  $||$  signalent qu'il s'agit de la longueur des vecteurs.

Trois expériences seront présentées. Le stimulus étant hautement bruité, la première expérience est une étude préliminaire permettant de rendre compte de la possibilité de classer le stimulus par l'observateur. La deuxième est une expérience où l'observateur était guidé par un feed-back sonore. La troisième est une expérience où l'observateur était guidé par un feed-back multi-modal (sonore et visuel).

## **I. Expérience 8. Expérience préliminaire d'un apprentissage perceptif.**

Afin d'évaluer la possibilité de classer un stimulus bruité, nous avons réalisé une expérience préliminaire. Avant d'exécuter les expériences dans lesquelles l'observateur doit apprendre un signal inconnu, nous avons jugé primordial de nous assurer qu'un observateur humain était capable de classer un signal temporel aléatoire en connaissant le prototype. Ainsi, notre hypothèse est que s'il est possible de détecter un stimulus aléatoire, alors les indices de sensibilité ( $d'$ ) et de ressemblance (cosinus de l'angle) entre le prototype attribué à l'observateur et son image de classification seront supérieurs à zéro. Nous anticipons aussi que l'image classée par l'observateur humain aura la même forme que celle classée par l'observateur idéal.

### **1. Méthode**

#### **1.1. OBSERVATEURS**

Deux observateurs ont participé à cette expérience RY-F et KK. Les deux observateurs avaient une vision corrigée à la normale.

#### **1.2. STIMULI**

Le prototype à détecter est une série de modulation de luminance relative, distribuée selon une gabor positive pour l'observateur RY et selon une gabor négative pour l'observateur KK. Les deux observateurs connaissaient le type de signal qui leur a été attribué.

#### **1.3. PROCÉDURE**

Les observateurs avaient pour consigne de détecter la présence ou l'absence du stimulus sur une échelle d'estimation. Ils connaissaient le prototype qu'ils devaient détecter. Leur tâche consistait à donner une valeur d'estimation de la présence ou l'absence du signal. Ils devaient donner la valeur 1 pour indiquer qu'ils étaient sûrs que le stimulus était absent et la valeur 6 pour indiquer qu'ils étaient sûrs que le stimulus était présent. Les niveaux intermédiaires 2, 3, 4 et 5 signifiaient les réponses suivantes : 2- stimulus peut être absent, 3- je ne suis pas certain que le stimulus est absent, 4- je ne suis pas certain que le stimulus est présent, 5- je crois que le stimulus est présent, les deux observateurs étaient guidés par un feed-back sonore leur donnant la bonne estimation après chaque essai. Chacun des deux observateurs a exécuté une seule session de 224 essais.

### **2. Résultats**

Les probabilités de détection correctes (H pour Hits en anglais sur la figure 94) sont supérieures à celles des fausses alarmes pour les six niveaux de réponses. Comme le montre la courbe ROC de la figure 94, les deux observateurs ont une sensibilité ( $d'$ ) supérieure à zéro, KK a un  $d'$  de 0.741 et RY de 0.45.

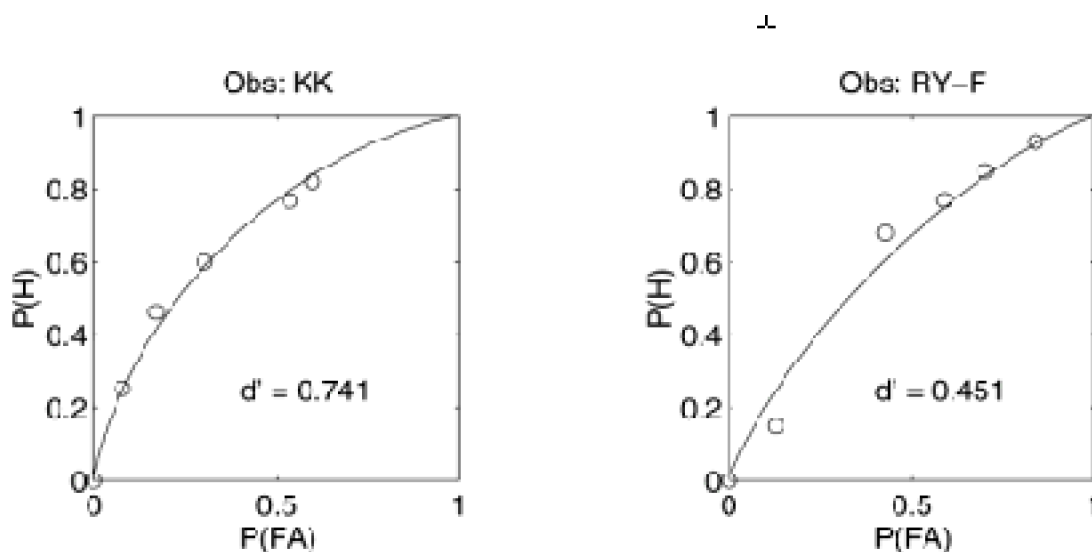


Figure 94. Représentation des courbes ROC pour les deux observateurs. Les cercles représentent les 6 valeurs de probabilité de DC représentées par H (Hits en anglais) en fonction des probabilités de FA. Les six niveaux des deux types de réponses concernent les six niveaux de l'échelle de l'estimation.

La figure 95 représente les images de classification des observateurs. La ligne discontinue représente la classification de l'image de l'observateur idéal. La ligne continue et les cercles représentent l'image de classification de l'observateur humain. Cette ressemblance est mesurée par le **cosinus de l'angle** entre l'image classée par l'observateur idéal et celle classée par l'observateur humain. Comme le montre la courbe de la modulation relative de la luminance ainsi que la valeur du cosinus de l'angle, la ressemblance entre les deux images est très élevée (cf. figure 95). Le cosinus de l'angle entre les deux images est de 0.732 pour KK et 0.55 pour RY-F. A noter que la valeur maximale de cet indice est 1.

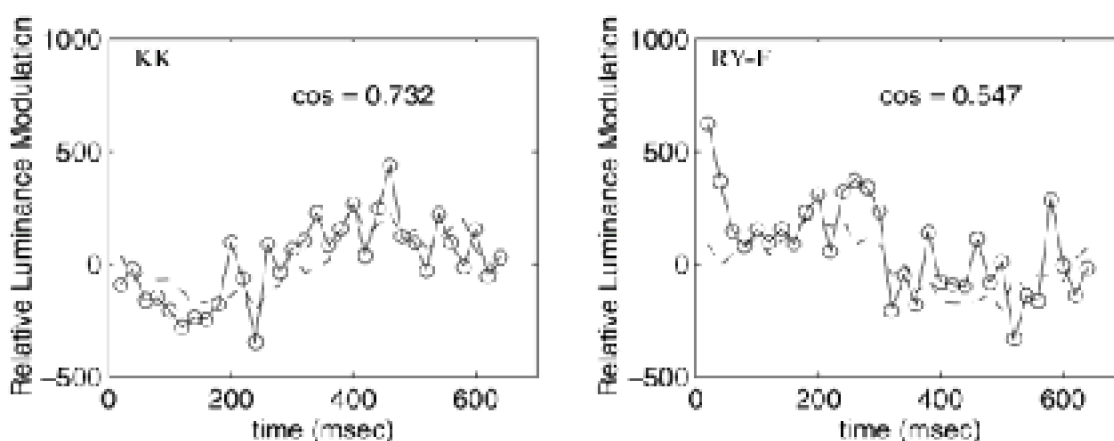


Figure 95. Représentation du prototype attribué aux observateurs par une ligne discontinue. Le prototype utilisé par l'observateur est représenté par des lignes continues. Cos est le cosinus de l'angle séparant le vecteur des réponses de l'observateur et celui de

*l'observateur idéal.*

### 3. Conclusions

Les deux observateurs ont réalisé des  $d'$  supérieurs à zéro et des cosinus élevés. Les prototypes détectés par les observateurs sont très similaires aux prototypes qui leur ont été attribués. Ce résultat est impressionnant si l'on considère qu'il provient de 224 essais seulement. Ainsi, nous concluons qu'il est possible de classer un stimulus temporel aléatoire en étant guidé par un feed-back sonore.

L'expérience suivante sera réalisée par des observateurs naïfs et ignorant totalement le prototype qui leur a été attribué. Le but étant de savoir si un feed-back sonore est suffisant pour acquérir un prototype nouveau et inconnu de l'observateur.

## II. Expérience 9. Apprentissage perceptif avec feed-back sonore

---

Les résultats de l'expérience 8 ont montré qu'il était possible de classer un signal temporel aléatoire lorsque l'observateur connaissait le prototype.

De nombreuses études ont montré que les observateurs classaient mieux le prototype qu'ils n'ont pas vu avant l'expérience que les exemplaires bien qu'ils les aient vus au préalable (Knapp & Anderson, 1984 ; Posner & Keele, 1968, 1970). Posner et Keele (1968, 1970) ont dessiné des prototypes et ont généré des exemplaires de ces derniers en y rajoutant des distorsions. Leurs résultats ont montré que les observateurs apprenaient mieux le prototype que ses exemplaires, bien qu'ils aient vu les exemplaires mais pas le prototype. Dans ces expériences le stimulus était une forme spatiale. Dans l'expérience suivante, notre but est de vérifier si un observateur ignorant la forme du prototype pouvait apprendre à discriminer un **stimulus temporel aléatoire** en étant guidé par un feed-back sonore.

### 1. Méthode

#### 1.1. OBSERVATEURS

Quatre observateurs ont participé à cette expérience, GA, PYB, PB et DV. Les quatre observateurs avaient une vision normal ou corrigée à la normale.

#### 1.2. STIMULI

Nous avons attribué un prototype de luminance distribué selon une gaussienne positive et négative à GA et PYB, respectivement. Nous avons attribué un prototype de luminance distribué selon une gabor positive et négative à PB et DV, respectivement.

#### 1.3. PROCÉDURE

La procédure était identique à celle utilisée dans l'expérience 8. Les deux différences étaient que d'une part les quatre observateurs ne connaissaient pas le stimulus qu'ils

devaient détecter, et d'autre part le nombre d'essais était supérieur : 4480 essais par observateur. Les observateurs exécutaient une seule session de 224 essais par jour.

## 2. Résultats

### 2.1. ANALYSE DES INDICES D'APPRENTISSAGE

L'observateur PB montre une amélioration pendant les 10 premières sessions, après lesquelles sa sensibilité baisse vers zéro. L'observateur PYB a une valeur de plus en plus négative. De manière générale, les valeurs de sensibilité des quatre observateurs varient autour de zéro et aucune amélioration n'est observée en fonction des 20 sessions (cf. figure 97). Les valeurs de  $d'$  s'étalent sur un nombre de jours différents pour chaque observateur. En effet, tous les observateurs n'ont pas pu participer tous les jours à l'expérience. Par exemple, P-YB a fini en 45 jours et GA en 60 jours.

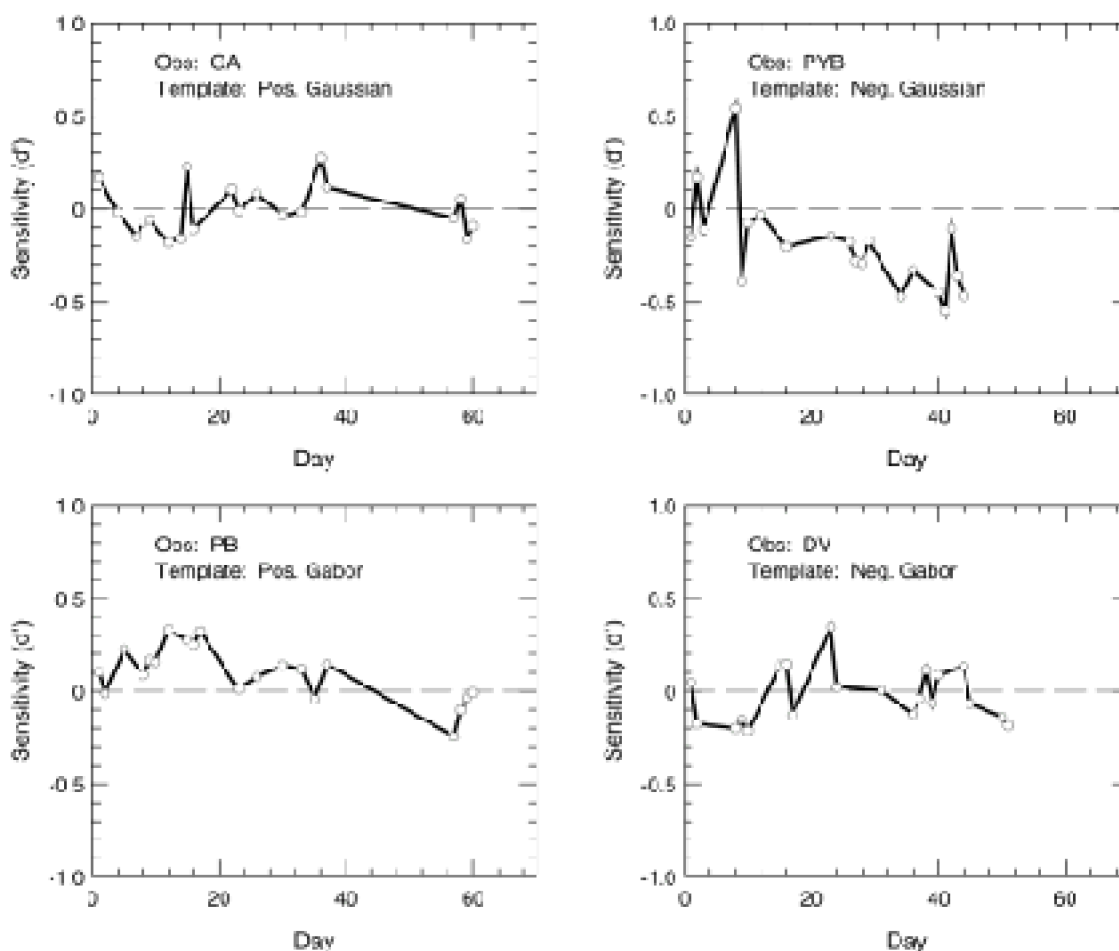


Figure 96. L'évolution des valeurs de  $d'$  en fonction des jours. Neg signifie négative et Pos.

signifie positive. La ligne discontinue horizontale représente une sensibilité nulle.

Les résultats de la figure 98 montrent une amélioration pour l'observateur PB pendant les dix premières sessions. L'observateur PYB a une valeur de cosinus de l'angle qui baisse en fonction des sessions, la valeur de l'angle du cosinus de la première session est de -0.2 et celui de la dernière est de -0.6. Ces résultats confirment ceux de l'analyse précédente (cf. figure 98). De façon générale, les valeurs du *cosinus de l'angle* ne s'améliorent pas en fonction des sessions.

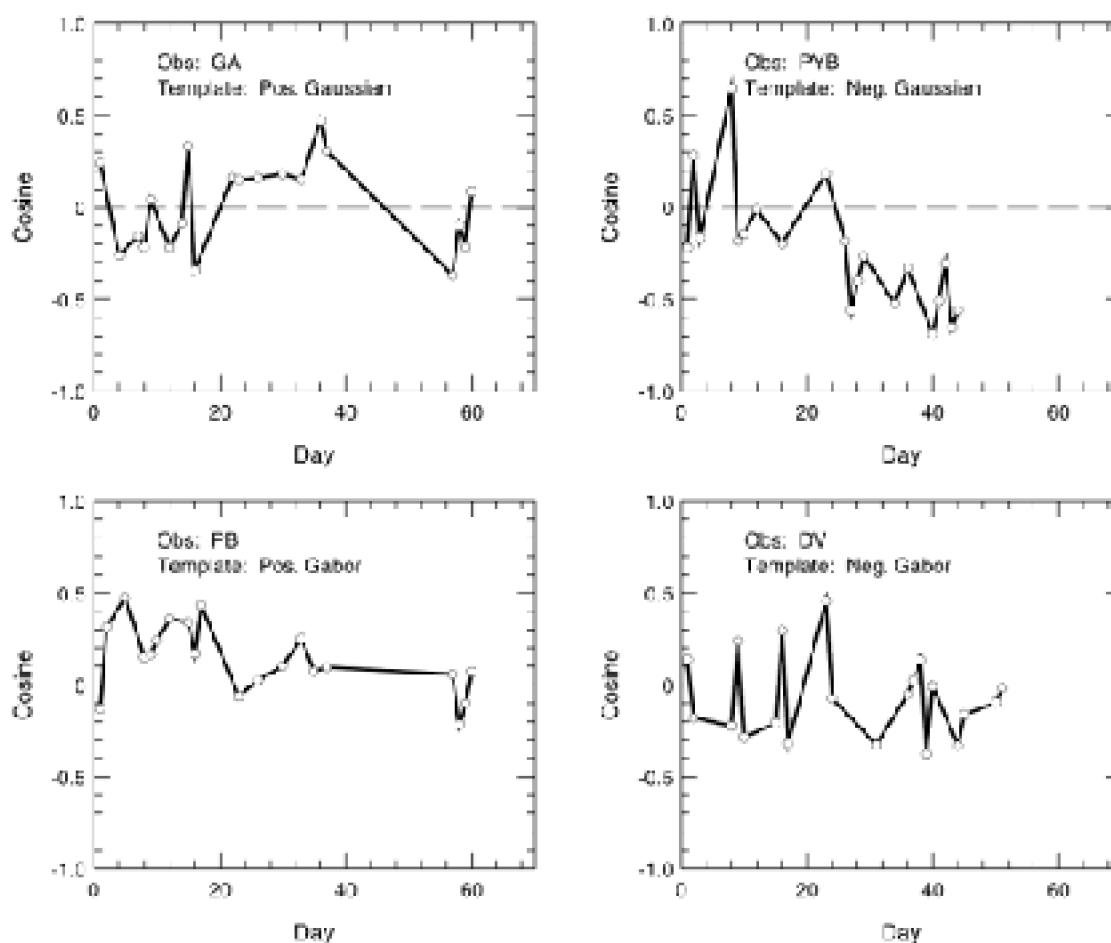


Figure 97. Représentation des valeurs de l'angle du cosinus entre les vecteurs du prototype utilisé par l'observateur humain et celui utilisé par l'observateur idéal en fonction des jours pour les quatre observateurs.

## 2.2. ANALYSE DE L'IMAGE DE CLASSIFICATION

Les profils de classification d'images utilisés par les observateurs ont été calculés pour les 1<sup>ère</sup>, 5<sup>ème</sup>, 10<sup>ème</sup>, 15<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> session (cf. figure 98).



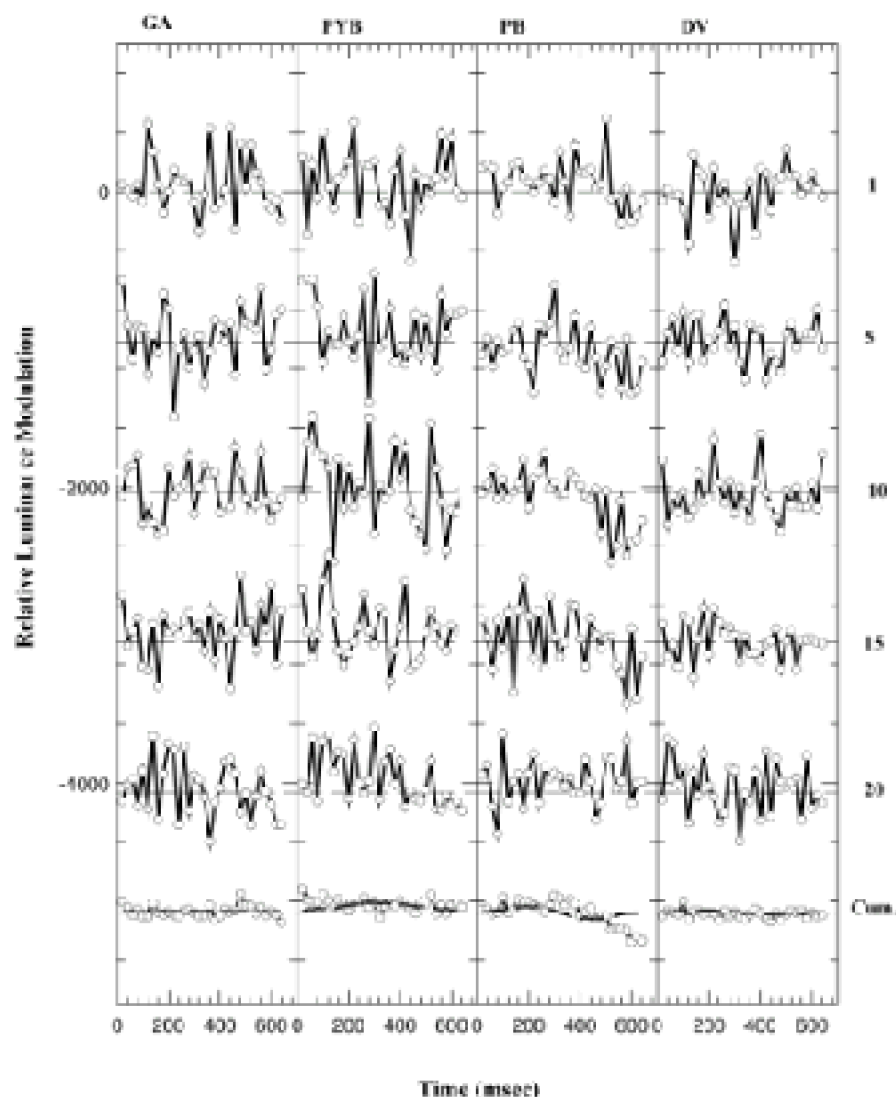


Figure 98. Représentation de la **luminance de modulation relative** en fonction du temps. Cette figure représente l'évolution des formes apprises par les observateurs en fonction de la 1<sup>ère</sup> jusqu'à la 20<sup>ème</sup> session. La dernière courbe est une analyse cumulée qui concerne l'ensemble des 20 sessions.

Aucun signal systématique ne ressort de cette analyse. L'analyse cumulée qui concerne l'ensemble des 20 sessions ne montre aucun prototype spécifique, les valeurs de modulation de luminance du prototype de l'observateur humain qui sont ajustées par rapport à celles de l'observateur idéal se rapprochent de zéro. L'observateur PYB, à qui nous avons attribué une modulation de luminance distribuée selon une gaussienne négative, a appris un prototype distribué selon une gaussienne légèrement positive (cf. figure 98, analyse cumulée). Ceci est cohérent avec les indices  $d'$  et l'angle de cosinus qui ont des valeurs négatives. L'observateur PB qui a montré une légère amélioration des indices  $d'$  d'apprentissage, a appris un prototype qui ressemble légèrement au prototype qui lui a été attribué (i.e., modulation aléatoire de luminance distribuée selon une gabor positive).

### 3. Conclusion

L'observateur PYB a appris un prototype anti-corrélé à celui qui lui a été attribué. Ceci est indiqué par les indices négatifs ( $d'$  et cosinus de l'angle) et aussi par l'image de classification montrée dans l'analyse cumulée. En effet, le prototype qu'il a appris est légèrement positif alors que le prototype qui lui a été attribué est un prototype distribué selon une gaussienne négative. L'observateur PB qui a montré des valeurs positives de  $d'$  et du cosinus de l'angle a appris un prototype qui ressemble légèrement à celui qui lui a été attribué (i.e., une modulation de luminance distribuée selon une gabor positive). De façon générale, les résultats de cette expérience ne montrent presque aucune amélioration en fonction des sessions et des jours. Aussi bien l'indice  $d'$  que celui du cosinus de l'angle ne montrent pas d'évolution en fonction des jours. L'image de classification est totalement aléatoire pour les différentes sessions de 1 à 20. L'analyse cumulée ne montre aucun prototype et les valeurs de modulation de luminance se rapprochent de zéro. Ceci signifie que les observateurs n'ont appris aucun prototype. Ainsi, nous concluons que l'apprentissage perceptif d'un prototype inconnu ne peut pas avoir lieu lorsque l'observateur est guidé par seulement un feed-back sonore.

## III. Expérience 10 : Apprentissage d'un stimulus inconnu en utilisant un feed-back sonore plus un feed-back visuel

---

### 1. Introduction

Dans notre dernière expérience, les observateurs aidés par un feed-back sonore n'ont pas appris le prototype inconnu qui leur a été attribué. Après avoir discuté avec les observateurs et après avoir passé nous même l'expérience, nous avons conclu qu'il était difficile de retenir l'information concernant le signal. En effet, les valeurs de luminance étant aléatoires et présentées dans une séquence très rapide, l'observateur ne pouvait pas retenir une information suffisante lui permettant d'acquérir le prototype. Ainsi, nous avons décidé de présenter une deuxième fois le stimulus après que l'observateur ait répondu.

De nombreuses études ont observé une amélioration des performances lorsque le stimulus était présenté à travers deux canaux sensoriels : auditif et visuel (Loveless, Brebner, & Hamilton, 1970; Nickerson, 1973; Halpern & Lantz, 1974). Ces études attribuaient ce résultat à la sommation inter-modale de l'énergie du stimulus, et aussi au fait que l'une des sources de l'information préparait l'observateur à recevoir la deuxième information provenant de l'autre source.

Ainsi, nous formulons l'hypothèse que si l'apprentissage perceptif d'un signal bruité et inconnu de l'observateur dépend de la sommation inter-modale de l'information concernant le signal et du taux d'information présenté à l'observateur, alors l'addition d'un feed-back visuel permettra un apprentissage perceptif d'un prototype inconnu.

### 2. Méthode

## **2.1. OBSERVATEURS**

Quatre observateurs ont participé à cette expérience, SC, CR, AF et LR. Les quatre observateurs avaient une vision normale ou corrigée à la normale.

## **2.2. STIMULI**

Nous avons attribué un prototype de modulation de luminance distribué selon une gaussienne négative aux observateurs SC et LR. Nous avons attribué un prototype d'une modulation de luminance distribué selon une gaussienne négative pour les observateurs CR et AF.

## **PROCÉDURE**

Le feed-back était multi-modal (sonore et visuel) (cf. figure 100). Le feed-back visuel correspondait à une deuxième présentation du stimulus pendant 640 ms. après le feed-back sonore (cf. figure 99).

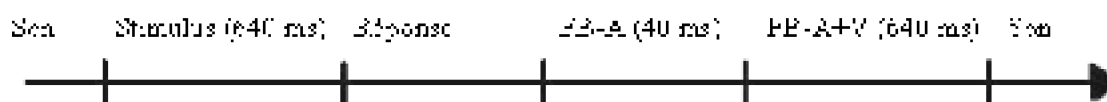


Figure 99. Diagramme des séquences d'événements qui composent un essai. FB-A est le feed-back auditif. FB-A+V est le feed-back auditif plus le feed-back visuel.

## **3. Résultats**

### **3.1. ANALYSE DE SENSIBILITÉ**

La figure 100 montre des valeurs de  $d'$  supérieures à zéro et qui sont représentées en fonction d'un nombre de jours différent d'un observateur à l'autre. En effet, les observateurs ne pouvaient se présenter tous les jours à l'expérience. Les valeurs de  $d'$  augmentent en fonction des jours pour les trois observateurs SC, CR et AF. L'augmentation des valeurs de  $d'$  n'est pas systématique, car les valeurs baissent parfois. Au contraire, l'observateur LR a des valeurs qui tournent autour de 0.5 et qui n'évoluent pas selon les jours.

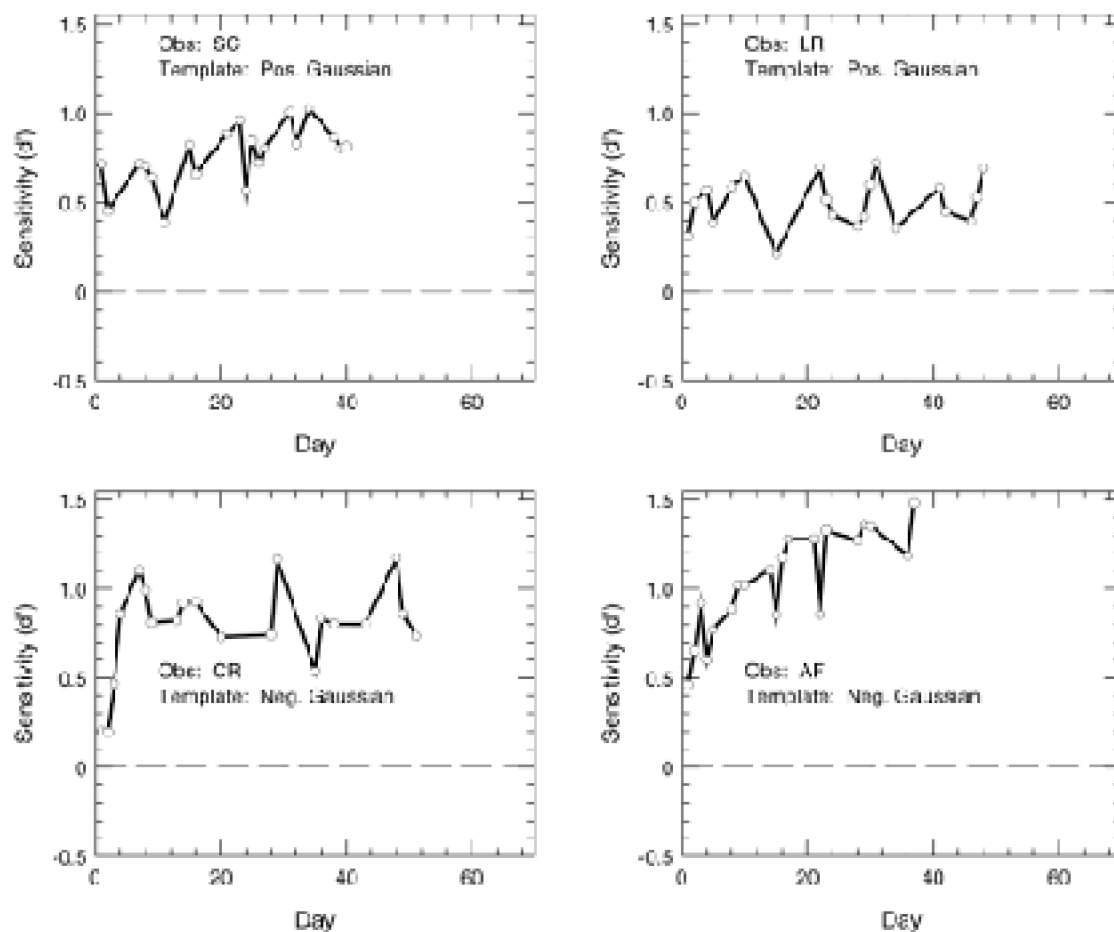


Figure 100. Représentation des valeurs de sensibilité en fonction des jours pour les quatre observateurs.

A l'image des  $d'$ , les valeurs du cosinus de l'angle augmentent en fonction des jours d'une manière qui n'est pas systématique. L'évolution des valeurs de cosinus de l'angle de l'observateur LR n'est pas aussi soutenue que celle observée chez les trois autres observateurs (cf. figure 101).

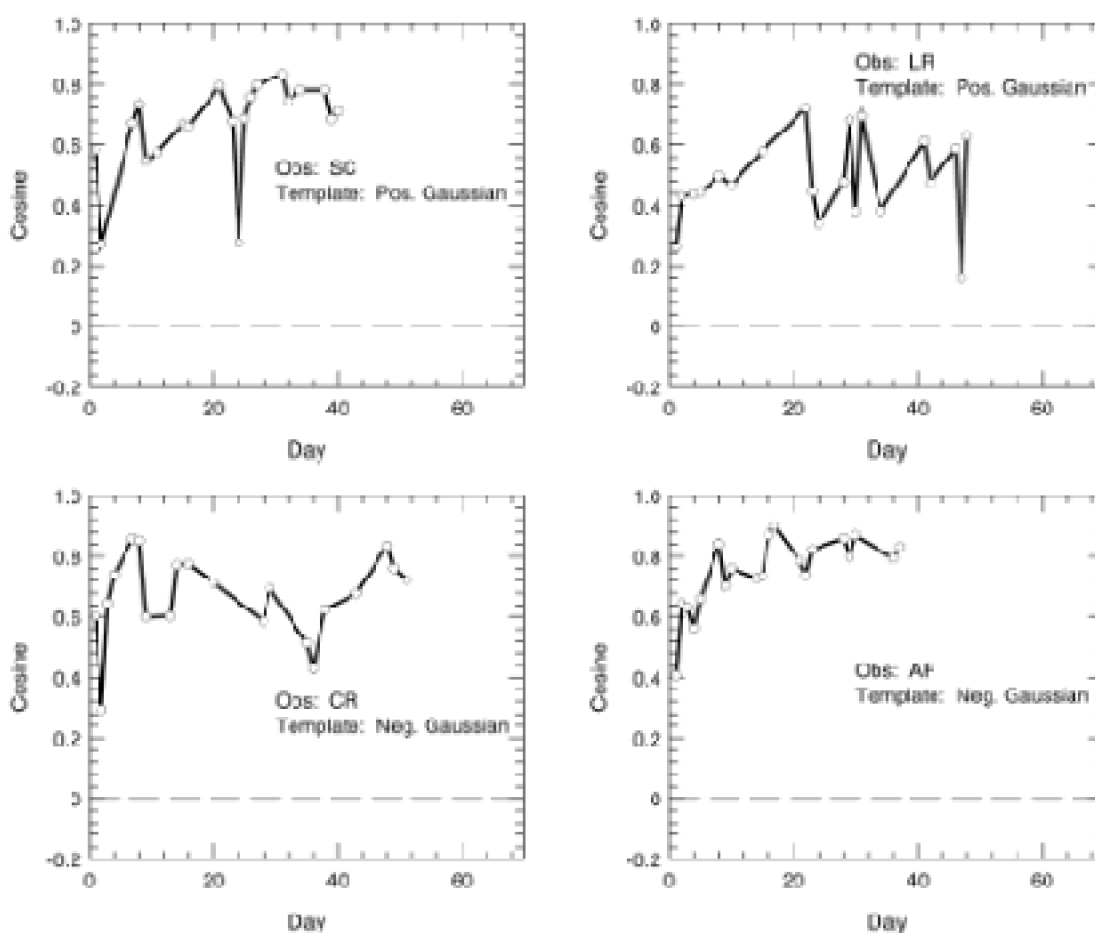


Figure 101. Représentation des valeurs cosinus en fonction des jours pour les quatre observateurs. Template signifie prototype. Neg : fonction négative et Pos. : fonction positive.

### 3.2. ANALYSE CUMULÉE DE LA CLASSIFICATION D'IMAGES

De la 1<sup>ère</sup> à la 20<sup>ème</sup> session, l'image de classification de l'observateur humain correspond de plus en plus au prototype qui lui a été attribué. Il est à signaler que cette analyse concernait une seule session à la fois, c'est la raison pour laquelle les images de classification paraissent bruitées. Cependant, lorsque la valeur de luminance aléatoire classée par l'observateur humain est analysée selon l'ensemble des 20 sessions (i.e., analyse cumulée) on observe une ressemblance entre l'image de classification de l'observateur humain et celle de l'observateur idéal (cf. figure 102). A signaler une tendance systématique chez les quatre observateurs à détecter un signal qui commence par une luminance qui a une valeur exagérée dans le même sens que la polarité de la luminance du prototype (cf. figure 102, le dernier panneau représente l'analyse cumulée).

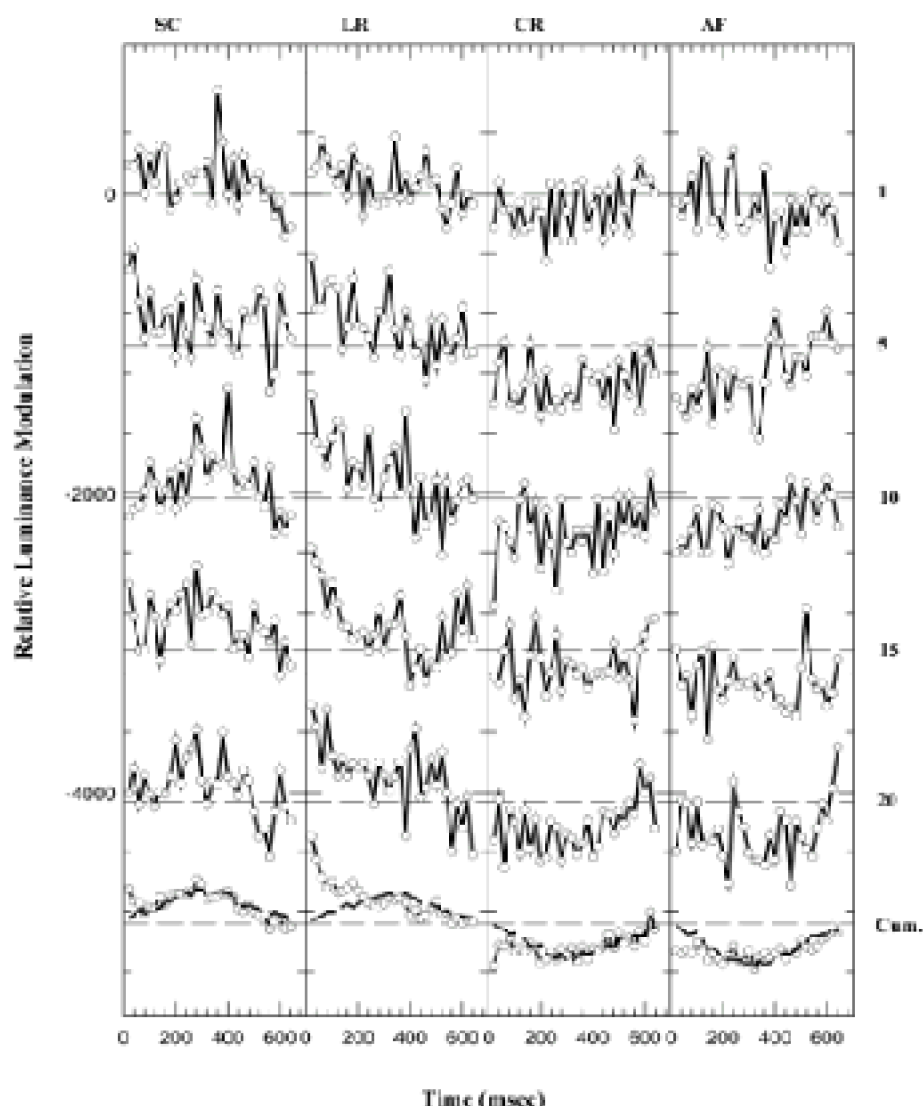


Figure 102. Représentation des formes apprises en fonction des jours. L'analyse est cumulée pour l'ensemble des 20 sessions.

#### 4. Conclusion

Les résultats montrent que les valeurs de sensibilité augmentent en fonction des jours. Les  $d'$  commencent à une valeur autour de 0.5 et augmentent en fonction des sessions. L'observateur qui a montré le minimum d'apprentissage est LR dont la sensibilité passe d'un  $d'$  de 0.3 pendant la première session à 0.7 pendant la dernière session du dernier jour. L'angle du cosinus qui est l'indice de ressemblance entre le vecteur choisi par l'observateur humain et le prototype choisi par l'observateur idéal augmente en fonction des jours. L'image de classification utilisée par les différents observateurs ressemble à celle qui leur a été attribuée. En effet, on observe une classification d'image d'une gaussienne positive pour les observateurs SC et d'une gaussienne négative pour l'observateur CR et AF. Ces prototypes correspondent aux prototypes attribués aux observateurs au début de l'expérience et à leur insu. L'observateur LR n'a pas appris le

---

prototype qui lui a été attribué, mais un prototype légèrement similaire.

La première partie de l'image de classification des quatre observateurs montre une luminance très élevée et qui va dans le même sens de la polarité de l'image du prototype, ce même résultat a été signalé par Thomas et Knoblauch (1998). Ceci signifie que les observateurs attribuent un poids plus important à la première partie du prototype qu'ils reçoivent à travers les voies visuelles les plus rapides.

## Conclusion générale concernant l'apprentissage perceptif

Nous avons appliqué la technique d'Ahumada (1996) à l'apprentissage perceptif. Cette technique nous a permis d'estimer la sensibilité de l'observateur au signal et aussi la similarité entre le prototype et l'image de classification utilisée par l'observateur humain. Ainsi, nous avons pu dire que l'observateur LR n'a pas appris le prototype, mais une forme légèrement similaire. Les indices  $d'$  et *cosinus de l'angle* mettent en évidence la similarité entre les réponses de l'observateur humain et celles de l'observateur idéal. Cependant, l'image de classification nous révèle l'image apprise par l'observateur.

Nous avons montré que la combinaison d'un feed-back auditif et un feed-back visuel permettait à l'observateur d'acquérir le prototype qu'il ignorait au début de l'expérience.

Plusieurs études ont proposé que l'apprentissage perceptif apparaissait grâce à une comparaison du stimulus à un ensemble de prototypes stockés en mémoire (Poggio et al., 1992 ; Doshier & Lu, 1999). Dans notre expérience, nous avons montré qu'il était possible d'apprendre un prototype inconnu en étant guidé par un feed-back auditif et visuel.

### Feed-back et apprentissage perceptif

---

Certaines études ont observé que le feed-back n'était pas nécessaire pour permettre un apprentissage perceptif. Nous proposons que la nécessité du feed-back diffère en fonction des conditions. L'apprentissage d'un stimulus complexe comme celui utilisé dans notre expérience nécessite un feed-back multi-modal. En effet, l'emploi d'un feed-back sonore seul n'a produit aucun apprentissage, l'addition d'un feed-back visuel s'est avérée nécessaire pour permettre l'acquisition d'un nouveau prototype.

Le feed-back visuel additionné à un feed-back auditif a permis l'apparition d'un apprentissage perceptif d'un signal bruité. Ce résultat est cohérent avec celui de l'étude de Halpern et Lantz (1974) qui ont observé que lorsque l'observateur recevait un feed-back multi-modal (visuel et auditif), l'amélioration des performances était supérieure comparée aux deux conditions où l'observateur recevait l'un des deux feed-back.

### Modèle du prototype ou modèle des exemplaires ?

---

Un système ou un individu en comportement (homme ou animal) classe les nombreuses entrées en un nombre limité de catégories. Le problème qui se pose est celui de classer les nouvelles entrées *qui ressemblent* mais qui ne *sont pas identiques* à ce qui a été rencontré auparavant.

Deux modèles psychologiques tentent d'expliquer le processus de la catégorisation. Le premier est un modèle **probabiliste** qui attribue la représentation d'une catégorie à un concept qui porte sur la moyenne de tous les exemplaires (Franks & Bransford, 1971 ; Posner & Keele, 1968, 1970 ; Strange, Keeney & Jenkins, 1970). Le deuxième est un modèle d'**exemplaires** qui propose qu'une catégorie n'est pas représentée par une seule description mais plutôt par un ensemble de descriptions concernant une partie ou tous les exemplaires de la catégorie (Brooks, 1978 ; Nelson, 1974 ; Hintzman & Ludlam, 1980).

L'amélioration de la sensibilité des observateurs montre qu'il est possible d'apprendre un prototype inconnu, ce résultat rejoint celui qui a été observé par Posner et Keele (1968, 1970). Ces auteurs ont attribué le fait que le prototype soit mieux retenu que ses exemplaires au fait que la mémoire, par sa nature fondamentale, attribue plus d'importance à la tendance centrale qu'aux extrémités.

Dans notre expérience, malgré la différence entre tous les stimuli, puisqu'il s'agissait d'une modulation aléatoire de luminance, l'observateur a appris une image identique au prototype qu'il ignorait au début de l'expérience. Les observateurs étaient capables d'extraire et d'apprendre le prototype qui leur était inconnu. Ainsi, nous suggérons que la mémoire a une capacité naturelle à plus retenir le prototype que ses exemplaires.

Nos résultats peuvent rendre compte des deux modèles. En effet, l'observateur se basait sur les exemplaires pour extraire et construire un prototype qui lui a permis ensuite de reconnaître les nouveaux signaux qui ressemblaient au prototype.

## Apprentissage perceptif au niveau cérébral

---

L'apprentissage perceptif apparaissant après une période d'entraînement est expliqué par une plasticité neuronale (Levi, Polat, & Hu, 1997). Deux études sur l'apprentissage perceptif ont proposé que le prototype de certaines tâches est appris à partir de ses exemplaires présentés dans les sessions précédentes (Poggio et al., 1992 ; Goldstone, 1998). Ces deux études proposent que le cerveau 're-calibre' les neurones pour qu'ils s'ajustent à la tâche et capturent les traits extérieurs les plus pertinents du signal. Nos résultats argumentent en faveur d'une amplification des capacités du cerveau à extraire et à utiliser le signal le plus pertinent (Hurlbert, 2000) et non à ignorer le bruit externe au signal puisque, dans notre expérience, le bruit n'était pas additionné au signal mais il était dans le signal.

Vania, Sunderswaran et Harris (1995) ont proposé que lors de l'apprentissage, les neurones apprennent à mieux extraire le signal en diminuant leurs réponses aux stimuli non pertinents, de cette manière ils augmentent leur précision ainsi que leur efficacité dans l'appariement du signal avec le prototype.

Dans les différents prototypes appris dans la 10<sup>ème</sup> expérience, on observe que les quatre observateurs donnaient plus de poids à la première partie de l'image. Le même



résultat a été observé dans une expérience de détection d'un signal connu et superposé à un bruit (Thomas & Knoblauch, 1998). Nous en concluons que l'observateur attribue un poids plus important aux premières caractéristiques du prototype qui sont envoyées par les voies visuelles les plus rapides.

Le fait que l'apprentissage n'apparaît qu'après un feed-back visuel peut être expliqué par le fait que l'apprentissage est le résultat d'une meilleure sélectivité des mécanismes sous tendant la tâche visuelle (Saarinen & Levi, 1995).

## **Différences inter-individuelles**

---

Nos résultats sont cohérents avec ceux observés dans d'autres études et montrent une différence inter-individuelle dans le phénomène de l'apprentissage perceptif . Le fait que l'apprentissage apparaisse chez certains observateurs et pas chez d'autres peut être dû aux différentes expériences visuelles des observateurs . Par exemple, dans notre expérience, les trois observateurs qui ont appris les stimuli sont des étudiants en thèse et travaillent sur des thèmes qui nécessitent la vision du plus petit détail. Au contraire, l'observateur qui n'a pas réalisé d'apprentissage est un observateur dont le travail ne nécessite pas une vision du détail aussi fine.

**Analyse psychophysique du champ visuel.**

---

## Conclusions et perspectives de recherche

L'étude de la mise à l'échelle des stimuli en fonction des excentricités a des avantages théoriques et pratiques. D'un point de vue théorique, le succès ou l'échec de la mise à l'échelle nous renseigne sur l'étendue des capacités de traitement de la vision périphérique ainsi que sur les facteurs neuronaux et les facteurs propres à la tâche ou au stimulus. D'un point de vue pratique, les résultats de cette étude nous ouvrent des voies d'application dans le monde réel. Par exemple, les jeux virtuels, la conception des panneaux pour les voitures et les avions. De plus, des stratégies de réhabilitation pourront être élaborées pour offrir aux millions de personnes souffrant d'un scotome central, une aide et une possibilité de ré-accéder à la lecture.

Dans notre première étude nous avons mesuré l'évolution de deux tâches visuelles : sensibilité au contraste (détection) et discrimination de position (identification) à travers le champ visuel périphérique. Nos résultats montrent que les seuils de contraste des deux tâches ont le même profil à travers les trois excentricités, hormis un facteur d'échelle. Ainsi, nous suggérons une **différence quantitative** lorsque la tâche visuelle nécessite la discrimination d'une cible présentée isolément. Ceci signifie que la baisse des performances dans le champ visuel périphérique peut être compensée par un facteur de mise à l'échelle spatiale.

Le résultat de notre première étude montre que le même facteur de mise à l'échelle est applicable à une tâche de détection et une tâche d'identification de position relative.

Ce résultat est cohérent avec celui observé par Higgins et al. (1996) et argumente en faveur d'un **modèle à échelle unique**. Ce résultat est toutefois différent de celui observé dans un grand nombre d'études. En effet, ces études ont observé que dans les tâches qui nécessitent l'encodage de l'information de la position relative entre les éléments d'un pattern, la vision périphérique est inférieure à la vision centrale, même après une mise à échelle. D'autres études ont estimé l'identification de caractères alphanumériques et ont observé une augmentation des seuils plus rapide dans la tâche d'identification que dans les tâches de résolution ou de détection et elles argumentent donc en faveur d'un modèle à double échelle spatiale (Farrel et Desmarais, 1990 ; Strasburger et al., 1991 ; 1994 ; Saarinen et al., 1989 ; Saarinen, 1988).

Nous expliquons la différence entre nos résultats et ceux observés dans les études précédentes par la **structure** de notre stimulus, **l'indice de discrimination**, **l'anticipation de l'observateur** et aussi par la différence **entre les stimuli de la même tâche**. En effet, lorsque le stimulus est structuré d'un cercle plus une barre et que la seule différence entre les stimuli réside dans l'emplacement d'un élément par rapport à l'autre, l'indice de discrimination est plus facile à gérer que dans une tâche où les stimuli diffèrent par leur phase et aussi par leur amplitude spectrale. De plus, lorsque l'observateur doit identifier une lettre parmi vingt-six ou un chiffre parmi dix, son incertitude est plus grande que lorsqu'il doit identifier une lettre parmi un ensemble de quatre.

Adapter la mise à l'échelle du stimulus à la nature de la tâche permet de rendre les appareils d'aide visuelle plus efficaces. Si la tâche est relativement simple comme c'est le cas dans notre expérience, alors une mise à l'échelle peut aider. Cependant, si le but de l'appareil est d'aider les patients ayant des scotomes visuels, alors la mise à l'échelle nécessitera un agrandissement de la taille du stimulus ainsi qu'une élévation du niveau de contraste pour produire un maximum de performance.

Nous avons analysé les erreurs de confusion des lettres symétriques en champ visuel périphérique. Les résultats montrent que la distribution des confusions n'est pas due au hasard, mais que la vision périphérique est plus propice aux confusions de type radial que les confusions de type tangentiel. Ce résultat est cohérent avec celui observé par Yap et al. (1987). Ces auteurs ont suggéré que dans les tâches de discrimination de positionnement il est plus facile de traiter les orientations tangentielles que les orientations radiales (i.e., un b est mieux distingué d'un d sur le méridien vertical que sur les méridien horizontal).

D'après notre analyse, le champ visuel est anisotrope et a une forme elliptique dans le sens horizontal. Aussi tous les types de confusions (horizontaux, verticaux ou obliques) sont plus nombreuses sur le méridien vertical que sur le méridien horizontal. Ce résultat est cohérent avec celui observé par Nazir (1991) qui a remarqué que les performances de discrimination d'une cible dans un pourtour étaient 20% plus élevées sur le méridien horizontal que sur le méridien vertical.

La tâche d'identification de lettres symétriques en miroir est une **tâche hybride**. En effet, il s'agit d'une tâche de résolution selon son  $E_2$  et d'une tâche de discrimination de positionnement selon le type de confusions qui la caractérise.

Dans notre analyse, nous avons observé que les seuils d'identification suivaient une

fonction quadratique et que les seuils de détection suivaient une évolution plutôt linéaire. Nous avons observé aussi que la différence entre les seuils des deux tâches est très importante sur la gamme des petites tailles et est très légère dans la gamme des grandes tailles. L'analyse d'un observateur idéal a révélé que la différence entre les seuils de détection et d'identification n'est pas due à l'échantillonnage spatial. En effet, l'analyse de l'observateur idéal n'a pas montré de différence entre l'évolution des seuils de détection et d'identification de petites tailles (cf. figures 32 et 63). Ainsi, nous proposons que la différence observée entre les deux tâches dans la gamme des petites tailles ne peut pas s'expliquer par un sous-échantillonnage spatial.

Comme les stimuli sont rarement présentés isolément dans le monde réel, nous avons effectué une étude dans laquelle la cible était présentée dans un environnement chargé. Cette étude nous a permis de mesurer l'étendue de l'effet de groupement en manipulant la similarité et la distance séparant la cible du pourtour.

Les résultats de notre étude montrent que l'effet de groupement s'étend sur une distance égale à 20% l'excentricité étudiée. Ceci signifie que si on présentait une cible à une excentricité de 15 degrés dans le champ visuel périphérique, les performances baisseraient à un niveau de chance tant que les éléments du pourtour seraient à une distance inférieure à 3° de la cible. Il s'agit d'une étendue de groupement inférieure à celle observée dans des études précédentes (50% de l'excentricité étudiée) (Bouma, 1970 ; Kooi et al., 1994 ; Toet & Levi, 1992). Bien que Kooi et al., (1994) et Toet et Levi (1992) aient utilisé une cible et un pourtour qui étaient **similaires** (la lettre T) et que Bouma (1970) ait utilisé un pourtour de forme **différente** de celle de la cible (i.e., chacune des vingt-cinq lettres de l'alphabet entourée par un X à droite et un X à gauche) l'étendue de l'effet de groupement était de 50% de l'excentricité étudiée. Ainsi, la similarité de la forme ne peut pas expliquer, à elle seule, la différence entre l'étendue observée dans notre étude et celle observée dans les études précédentes. Nous concluons que la **similarité** de la forme du pourtour tout comme sa **complexité** provoquent une longue étendue de l'effet de groupement.

Le nouveau résultat de notre étude est que la différence entre la cible et le pourtour a un impact sur l'effet de groupement. En effet, lorsque les FS du pourtour sont inférieures à celles de la cible, l'effet de groupement est maximal. Ce résultat ne peut pas être dû à la visibilité, car à visibilité égale, les basses fréquences spatiales du pourtour provoquent un effet de groupement plus important que les hautes fréquences spatiales. Il est possible que cet effet soit spécifique au stimuli de forme gabor qui sont localisés dans le domaine spatial. En effet, Chung et al. (2001) en utilisant des lettres de forme sinusoïdale ont observé que l'impact des FS se distribuait de façon normale (que les FS soient supérieures ou inférieures l'effet de groupement est identique). Ainsi, nous proposons que lorsque le stimulus est structuré d'éléments gabor, un pourtour de basses FS provoque une étendue d'effet de groupement plus longue que celle provoquée par un pourtour de hautes FS. L'explication qui nous semble la plus logique est que lorsque les stimuli sont localisés dans le domaine spatial, les canaux traitant les basses FS sont plus larges que ceux traitant les hautes FS.

Lorsque tous les éléments du pourtour sont orientés de façon orthogonale à la cible, l'effet de groupement est très léger voire absent. Cependant, lorsque 50% des éléments

sont orientés orthogonalement et 50% ont une orientation identique à celle de la cible, l'étendue de l'effet de groupement est équivalente à 16% de l'excentricité étudiée. Nous expliquons ce résultat par un effet attentionnel. Si l'effet de groupement était dû uniquement à l'interaction de canaux traitant l'information visuelle, l'étendue serait équivalente à 10% de l'excentricité étudiée, puisque la moitié était stimulée par des éléments inhibiteurs et l'autre moitié par des éléments excitateurs.

En représentant le niveau de contraste nécessaire pour discriminer la cible E en fonction du contraste des éléments du pourtour, nous avons observé une fonction de puissance de 0.5. Ce résultat signifie que plus le niveau de contraste des éléments du pourtour est élevé, plus la discrimination de la cible est difficile. Ce résultat est cohérent avec celui observé dans l'étude de Toet et Levi (1994) qui ont remarqué une baisse de performances de discrimination de la cible T lorsque le niveau de contraste des éléments du pourtour était plus élevé que celui de la cible. Chung et al. (2001) ont observé une fonction de puissance inférieure à celle observée dans notre étude (0.2).

De nombreuses études effectuées en vision centrale ont observé une **facilitation** de la discrimination de la cible lorsque les éléments du pourtour étaient proches de la cible. D'autres études ont trouvé de meilleures performances lorsque le pourtour était proche de la cible que lorsque celui-ci était éloigné (Flom et al., 1963 ; Liu 2001 ; Danilova & Bondarko 1999). Aucun de nos résultats ne montre une facilitation ou une amélioration des performances lorsque le pourtour est plus proche de la cible (cf. figure 72).

En vision fovéale, les barres entourant la cible E n'ont pas provoqué d'effet de groupement lorsque les éléments du pourtour jouxtaient la cible (Levi, 2000). La seule condition qui a provoqué un effet de groupement était une superposition des éléments de la cible à ceux du pourtour. En revanche, en vision périphérique en utilisant un stimulus identique et mis à l'échelle, l'effet de groupement s'étend sur 20% de l'excentricité étudiée comme le montrent nos résultats.

Deux caractéristiques de l'effet de groupement nous permettent de suggérer une **différence qualitative** entre la vision centrale et la vision périphérique lorsque la cible est présentée dans un environnement chargé. La première est l'absence d'effet de groupement en vision fovéale rapportée dans certaines études (Levi, 2001 ; Strasburger et al., 1994 ; Leat et al., 1999). La deuxième caractéristique concerne l'amélioration des performances en présence d'éléments jouxtant la cible ou la facilitation observée dans différentes études en vision fovéale et son absence en vision périphérique dans notre étude.

De nombreuses études physiologiques ont révélé que lorsqu'un neurone est activé par un stimulus et qu'un autre stimulus est ajouté dans le champ récepteur de ce même neurone, la réponse de ce dernier peut **augmenter** ou **baisser** (Kapadia, Ito, Gilbert & Westheimer, 1995; Levitt & Lund, 1997; Nelson & Frost, 1978; Polat & Norcia, 1996; Polat, Mizobe, Pettet, Kasamatsu & Norcia, 1998; Polat & Norcia, 1998; Toth, Rao, Kim, Somers & Sur, 1996). Ceci signifie que la présence d'un élément jouxtant la cible peut provoquer une facilitation ou une inhibition, comme c'est le cas pour l'effet de groupement en vision centrale. Cependant, les connaissances électrophysiologiques actuelles n'ont pas déterminé s'il y a un effet d'excentricité similaire à celui que nous proposons. A savoir

que la facilitation est absente en vision périphérique et est spécifique à la vision centrale.

Ainsi, nous proposons que si la différence entre la vision centrale et la vision périphérique était une différence quantitative, alors une mise à l'échelle des tailles des stimuli aurait résolu le problème. L'agrandissement des tailles permet une mise à l'échelle lorsque les stimuli sont présentés isolément comme nous l'avons montré dans notre première expérience. Cependant, la mise à l'échelle s'avère insuffisante lorsqu'une cible est présentée dans un environnement chargé. En effet, la mise à l'échelle du E dans les expériences portant sur l'effet de groupement n'a pas permis d'atteindre un maximum de bonnes réponses à cause de la présence des barres juxtantes. Si la différence entre vision fovéale et vision périphérique était un simple changement de sensibilité, alors une augmentation du niveau de contraste aurait permis d'égaliser les performances. En effet, le E ayant un niveau de contraste adéquat présenté isolément a permis aux observateurs d'atteindre des performances supérieures à 85% de bonnes réponses tandis que la présence des barres du pourtour provoquait une baisse de performances à un niveau de chance. Ainsi, nous suggérons que la vision périphérique se caractérise par sa différence quantitative et aussi par sa différence qualitative.

La troisième étude a montré qu'il était possible d'acquérir un prototype inconnu de l'observateur lorsque celui-ci est guidé par un feed-back multi-modal (auditif et visuel). Il nous a été possible également de schématiser l'image du prototype appris par l'observateur. Nos résultats montrent que les observateurs attribuaient un poids plus important à la première partie du stimulus. Cette caractéristique est systématique, elle a été observée chez les quatre observateurs participant à l'expérience, même chez l'observateur qui n'a pas appris le prototype qui lui a été attribué. Le même résultat a été observé par Thomas et Knoblauch (1998) dans l'étude de la détection d'un prototype connu. Ce phénomène refléterait une tendance innée à attribuer un poids plus important aux informations traitées par les voies visuelles les plus rapides.

Nos résultats provenant des trois études précédemment détaillées, nous ont permis de poser plusieurs questions et ainsi de proposer différentes perspectives.

## Perspectives

Pour chacune des trois études effectuées nous proposons un ensemble de perspectives.

Afin de vérifier l'impact de l'indice de discrimination sur l'évolution des deux tâches en vision périphérique, nous proposons de mesurer l'évolution de la tâche de détection et d'identification dans trois expériences. Dans une première expérience, on utiliserait des stimuli chiffres arabes allant de 0 à 9. Dans une deuxième, on utiliserait l'ensemble des 26 lettres de l'alphabet. Dans une dernière expérience, on utiliserait des lettres symétriques différant par leur phase (b, d, p et q). Dans les trois expériences, les stimuli devraient avoir les mêmes caractéristiques physiques (niveau de contraste et taille) afin de comparer l'évolution des deux tâches pour un même observateur. Il s'agira de vérifier si l'indice de discrimination (plus fort pour les chiffres arabes et l'ensemble des lettres de

l'alphabet et moins important pour les lettres symétriques en miroir différant par leur phase) a un impact sur l'évolution des deux tâches à travers le champ visuel.

Afin de mesurer l'effet de l'orientation des éléments du pourtour sur la discrimination de la cible, il est intéressant de varier le nombre des segments orientés de façon orthogonale. Par exemple, étudier la condition mixte avec 10 à 90% des segments orientés de façon orthogonale (en évoluant par un pas de 10). Cette mesure nous donnera une idée bien précise sur l'évolution de l'effet de l'orientation du pourtour sur la discrimination de la cible en fonction du nombre d'éléments orientés orthogonalement. Il serait intéressant de mesurer l'ampleur de l'effet de groupement en fonction de l'orientation des segments composant les barres du pourtour. Par exemple, mesurer l'étendue de l'effet de groupement lorsque les segments sont orientés à 15, 30, 60° par rapport à ceux de la cible. Il serait important de faire une expérience pour mesurer l'étendue du groupement en rajoutant des barres autour de la lettre E. Présenter la lettre entourée par 1, 2, 3 ou 4 barres de chaque côtés. Cette expérience nous permettra de tirer des conclusions sur le fonctionnement de la vision périphérique et de savoir si la quantité d'éléments du pourtour provoque un effet de groupement plus fort.

La première perspective concernant le thème de l'apprentissage perceptif sera d'appliquer cette technique sur l'apprentissage d'un stimulus spatial et d'exécuter la même tâche en vision périphérique qu'en vision fovéale afin de comparer l'évolution de l'acquisition d'un prototype dans les deux parties du champ visuel. L'apprentissage perceptif des stimuli spatiaux est connu par sa spécificité à la localisation, à la forme, aux FS (Fiorentini & Berardi, 1981; Mayer, 1983; Karni & Sagi, 1991; Nazir & O'Regan, 1990; O'Toole & Kersten, 1992). Il serait intéressant de vérifier la spécificité à la forme lorsqu'un stimulus temporel bruité est utilisé.

La logique de l'expérience sera la suivante. Un observateur exécute l'expérience dans laquelle il doit détecter un stimulus non connu, distribué selon une gaussienne positive. Après avoir appris le prototype qui lui a été attribué, une deuxième expérience est à entreprendre. Dans celle-ci l'observateur doit détecter un signal similaire hormis sa polarité (un stimulus distribué selon une gaussienne négative). Les résultats d'une telle expérience contribueront à affirmer ou infirmer la spécificité de l'apprentissage à la forme lorsque le stimulus est une modulation aléatoire de luminance.



# Présentations et publications

Les travaux effectués lors de cette thèse ont donné lieu aux présentations à des congrès internationaux ainsi qu'aux publications suivantes :

## I- Résumés

Yssaad-Fesselier R. & Levi D.M. (2000). Peripheral Crowding is not simply spatial frequency masking (s). *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41, s37.

Knoblauch, K. & Yssaad-Fesselier, R. (2000). Stimulus Features used during learning of an unknown visual signal (s). *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41, s46.

Yssaad-Fesselier, R., Knoblauch, K. (1998). Scaling of letter detection and identification as a function of eccentricity (s). *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 39, s409.

Yssaad, R., Mallonay, L. T., & Knoblauch, K (1997). Detecting and identifying mirror-symmetric letters in periphery: A test of the equivalent-size hypothesis (s). *Perception*, 26, 34.

## II. Communications

### Communication orales

---

Yssaad-Fesselier R. et Knoblauch K. (2000): Acquisition d'un prototype en vision centrale. " The Evolution of a template acquisition ". XXVII International Congress of Psychology. Stockholm, Suède.

Yssaad-Fesselier R. & Levi D.M. (2000): Fréquences spatiales et orientation dans l'effet de groupement. Congrès National de la Société Française d'Optique Physiologique. Lyon, France.

### Posters

---

Yssaad-Fesselier R. & Levi D.M. (2000). Effet de groupement en vision périphérique : Approche Psychophysique. *Sciences de la vision et leur applications* : Bulletin de la société française d'optique physiologique. 7.

Knoblauch K & Yssaad-Fesselier R. (2000). Stimulus features used during learning of an unknown visual signal. The Association for Research in Vision and Ophthalmology. ARVO Central Office - 9650 Rockville Pike - Bethesda, MD 20814-3998. USA.

Yssaad-Fesselier R. et Knoblauch K. (1998). Mise à l'échelle de détection et d'identification de lettres en fonction de l'excentricité rétinienne. " Scaling of letter detection and identification as a function of eccentricity. " The Association for Research in Vision and Ophthalmology. ARVO Central Office - 9650 Rockville Pike - Bethesda, MD 20814-3998. USA.

Yssaad-Fesselier R. et Knoblauch K. (1998). Mise à l'échelle de la détection et de l'identification de lettres en fonction de l'excentricité. Journées de la Vision: INSERM. Lyon.

Yssaad-Fesselier R. et Knoblauch K. (1997). Détection et identification de lettres symétriques en miroir en vision périphérique. Ecole de Printemps, Aussois (NSI 97). Grenoble.

## III. Articles

Yssaad-Fesselier R. & Levi D.M. (2000). Effet de groupement en vision périphérique :

Approche Psychophysique. *Sciences de la vision et leur applications* : Bulletin de la société française d'optique physiologique. A paraître.

Article en préparation :

Scaling of letter Detection and identification as a function of eccentricity.



---

## Bibliographie

- Adams, C. K., Perez, J. M., & Hawthorne, M. N. (1974). Rod and cone densities in the Rhesus. Investigative Ophthalmology & Vision Science, 13, 885-888.
- Ahumada, A. (1996). Perceptual classification images from vernier acuity masked by noise. Perception, 25 (Suppl.), 18.
- Ahumada, A., Jr. & Marken, R. (1975). Time and frequency analyses of auditory signal detection. J Acoust.Soc Am., 57, 385-390.
- Allman, J. M. & Kaas, J. H. (1971). A representation of the visual field in the caudal third of the middle temporal gyrus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). Brain Research, 31, 85-105.
- Anderson, R. S. & Ennis, F. A. (1999). Foveal and peripheral thresholds for detection and resolution of vanishing optotype tumbling E's. Vision Research, 39, 4141-4144.
- Anderson, R. S. (1996). Aliasing in peripheral vision for flickering gratings. Journal of Optical Society of America A., 13, 2288-2293.
- Andriessen, J. J. & Bouma, H. (1976). Eccentric vision: Adverse interactions between line segments. Vision Research, 16, 71-78.
- Anstis, S. M. (1974). A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. Vision Research, 14, 589-592.
- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: the 'oblique effect' in man and animals. Psychological Bulletin, 78, 266-278.

- Bagot, J.D. (1999). Information, sensation et perception. Paris: Armand Colin.
- Ball, K. & Sekuler, R. (1987). Direction-specific improvement in motion discrimination. Vision Research, *27*, 953-965.
- Banks, W. P. & Larson, D. W. (1979). Asymmetry of visual interference. Perception and Psychophysics, *25*, 447-456.
- Barlow, H. B. (1979). Reconstructing the visual image in space and time. Nature, *279*, 189-190.
- Barlow, H. B. (1981). Critical limiting factors in the design of the eye and visual cortex. Proc.R.Soc.(London) B, *212*, 1-34.
- Barrett, B. T., Whitaker, D., McGraw, P. V., & Herbert, A. M. (2000). Discriminating mirror symmetry in foveal and extra-foveal vision. Vision Research, *39*, 3737-3744.
- Baylor, D. A. (1987). Photoreceptor signals and vision. Investigative Ophthalmology & Vision Science, *28*, 34-49.
- Beard, B., Levi, D. M., & Reich, L. N. (1995). Perceptual learning in parafoveal vision. Vision Research, *35*, 1679-1690.
- Ben Hamed, S. (1999). Caractérisation fonctionnelle de la représentation visuelle de l'aire intrapariétale latérale (LIP): Spécificité et modulations comportementales. Thèse Doctorale, Université Paris VI.
- Bennett, A.G. (1965). Ophthalmic test types. British Journal of Physiological Optics, *22*, 238-271.
- Bennett, P. J. & Banks, M. S. (1987). Sensitivity loss in odd-symmetric mechanisms and phase anomalies in peripheral vision. Nature, *326*, 873-876.
- Bennett, P. J. & Banks, M. S. (1991). The effects of contrast, spatial scale, and orientation on foveal and peripheral phase discrimination. Vision Research, *31*, 1759-1786.
- Bennett, R. G., & Westheimer, G. (1991). The effect of training on visual alignment discrimination and grating resolution. Perception and Psychophysics, *49*, 541-546.
- Blakemore, C. & Campbell, F. W. (1969). On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. Journal of Physiology (London), *203*, 237-260.
- Blakemore, C., & Tobin, E.A. (1972). Lateral inhibition between orientation detectors in the cat's visual cortex. Experimental Brain Research, *15*, 439-440.
- Blakemore, C., Carpenter, R.H.S., & Georgeson, M.A. (1970). Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system. Nature, *228*, 237-260.
- Blasdel, G. G., Lund, J. S., & Fitzpatrick, D. (1985). Intrinsic connections of macaque striate cortex: axonal projections of cells outside lamina 4C. Journal of Neuroscience, *5*, 3350-3369.
- Borwein, B., Borwein, D., Medeiros, J., & McGowan, J. W. (1980). The ultrastructure of monkey foveal photoreceptors, with special reference to the structure, shape, size, and spacing of the foveal cones. American Journal of Anatomy, *159*, 125-146.
- Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. Nature, *226*, 177-178.

- Bouma, H. (1971). Visual recognition of isolated lower-case letters. *Vision Research*, 11, 459-474.
- Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13, 767-782.
- Boussaoud, D., Ungeleider, L. G., & Desimone, R. (1990). Pathways for motion analysis: cortical connections of the medial superior temporal and fundus of the superior temporal visual areas in the macaque. *Journal of Comparative Neurology*, 296, 462-495.
- Braddick, O. (1981). Is spatial phase degraded in peripheral vision? *Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*, 30, 255-262.
- Brooks, L. (1978). Non-analytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. (pp. 169-211). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bruce, V. G. & Morgan, M. J. (1975). Violations of symmetry and repetition in visual patterns. *Perception*, 4, 239-249.
- Bullier, J. & Barone, P. (1992). Voies optiques intracrânienne et lobe occipital: anatomie, fonction, développement. In *Encyclopédie Médico-Chirurgicale* (pp. 1-11). Paris: Elsevier.
- Bullier, J. (1998). Architecture fonctionnelle du système visuel. In M. Boucart, M.-A. Hénaff, & C. Belin (Eds.), *VISION: Aspects perceptifs et cognitifs* (pp. 11-40). Marseilles: SOLAL.
- Campbell, F. W. & Robson, J. G. (1968). Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *Journal of Physiology (London)*, 197, 551-566.
- Campbell, F. W., Cleland, B. G., Cooper, G. F., & Enroth-Cugell, C. (1968). The angular selectivity of visual cortical cells to moving gratings. *Journal of Physiology (London)*, 198, 237-250.
- Cannon, M. W., & Fullenkamp, S. C. (1996). A model for inhibitory lateral interaction effects in perceived contrast. *Vision Research*, 36, 1115-1125.
- Cannon, M.W., & Fullenkamp, S.C. (1991a). Spatial interactions in apparent contrast: Inhibitory effects among grating patterns different spatial frequency, spatial positions and orientations. *Vision Research*, 31, 1985-1998.
- Cannon, M.W., & Fullenkamp, S.C. (1991b). Lateral interactions among contrast sensitive mechanisms. *Journal of the Optical Society of America Annual, Technical Digest Series*, 17, 164
- Cannon, M.W., & Fullenkamp, S.C. (1993). Spatial interactions in apparent contrast: Individual differences in enhancement and suppression effects. *Vision Research*, 33, 1685-1695.
- Carpenter, R. H. S., & Blakemore, C. (1973). Interactions between orientations in human vision. *Experimental Brain Research*, 18, 287-303.
- Cenni, M. C., Bonfanti, L., Martinou, J.-C., Ratto, G. M., Strettoi, E., & Maffei, L. (1996). Long-term survival of retinal ganglion cells following optic nerve section in adult *bcl-2* transgenic mice. *European Journal of Neuroscience*, 8, 1735-1745.
- Cesaro, P., Keravel, Y., Ollat, H., Peschanski, M., & Sindou, M. (1997). *Neuroanatomie*

Fonctionnelle: de la cellule aux comportements. (Vols. 5) Paris: Association pour la Neuro Psycho Pharmacologie.

- Chapman, B., Zahs, K. R., & Stryker, M. P. (1991). Relation of cortical cell orientation selectivity to alignment of receptive fields of the geniculocortical afferents that arborize within a single orientation column in ferret visual cortex. Journal of Neuroscience, *11*, 1347-1358.
- Chubb, C., Sperling, G., & Solomon, J. (1989). Texture interactions determine apparent lightness. Proceedings National Academic Sciences USA, *86*, 9631-9635.
- Chung, S. T. L. & Bedell, H. E. (1995). Effect of retinal motion in visual acuity and contour interaction in congenital nystagmus. Vision Research, *35*, 3071-3082.
- Chung, S.T.L., & Levi, D. M. (1998). Crowding a tale of spatial-frequency masking.
- Chung, S.T.L., Levi, D. M., & Legge, G. E. (2001). Spatial-frequency and contrast properties of crowding. Vision Research, *41*, 1833-1850.
- Colby, C. L., Gattass, R., Olson, C. R., & Gross, C. G. (1988). Topographical organization of cortical afferents to extrastriate visual cortex are PO in the macaque: a dual tracer study . Journal of Comparative Neurology, *269*, 392-413.
- Coletta, N. J. & Williams, D. R. (1987). Psychophysical estimate of extrafoveal cone spacing. Journal of the Optical Society of America A, *4*, 1503-1513.
- Connolly, M. & Van Essen, D. (1984). The representation of the visual field in parvocellular and magnocellular layers of the lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. Journal of Comparative Neurology, *226*, 544-564.
- Corballis, M.C., & Beale, I.L. (1976). The psychology of left and right. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Cowey, A. (1964). The projection of the retina on to striate and prestriate cortex in the squirrel monkey *Saimiri sciureus*. Journal of Neurophysiology, *27*, 366-393.
- Crist, R.E., Kapadia, M.K., Westheimer, G., & Gilbert, C.D. (1997). Perceptual learning of spatial localization: specificity for orientation, position, and context. J Neurophysiol., *78*(6), 2889-2894.
- Curcio, C. A. & Allen, K. A. (1990). Topography of ganglion cells in human retina. Journal of Comparative Neurology, *300*, 5-25.
- Curcio, C.A., Sloan, K.R., Packer, O., Hendrickson, A.E., & Kalina, R.E. (1987). Distribution of cones in human and monkey retina: Individual variability and radial asymmetry. Science, *236*, 579-582.
- Dacey, D. M. & Lee, B. B. (1994). The "blue-on" opponent pathway in primate retina originates from distinct bistratified ganglion cell type. Nature, *367*, 731-735.
- Dacey, D. M. (1993). Morphology of a small field bistratified ganglion cell type in the macaque and human retina. Visual Neuroscience, *10*, 1081-1098.
- Daitch, J. M. & Green, D. G. (1969). Contrast sensitivity of the human peripheral retina. Vision Research, *9*, 947-952.
- Daniel, P. M. & Whitteridge, D. (1961). The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys. Journal of physiology, *159*, 203-221.
- Danilova, M. V. & Bandarko, V. M. (2000). Physics is not sufficient to explain foveal



- contour interactions and the crowding-effect: Physiology is needed. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 41 (Suppl.), S440.
- Danilova, M. V., & Bondarko, V. M. (1999). How do spatial-frequency interactions contribute to the crowding effect in central vision? Investigative Ophthalmology & Visual Science, 40 (Suppl.), s216
- Davson, H. (1990). Davson's Physiology of the eye. (5 ed.) London: Macmillan Academic and Professional Ltd.
- de Monasterio, F. M., McCrane, E. P., Newlander, J. K., & Schein, S. J. (1985). Density profile of blue-sensitive cones along the horizontal meridian of macaque retina. Investigative Ophthalmology, Vision Science, 26, 289-302.
- De Valois, K.K. (1977). Spatial frequency adaptation can enhance contrast sensitivity. Vision Research, 17, 1057-1065.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1990). Spatial Vision. New York: Oxford University Press, Inc.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G., & Thorell, L. G. (1982). Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. Vision Research, 22, 545-559.
- De Valois, R. L., Morgan, H., & Snodderly, D. M. (1974). Psychophysical studies of monkey vision: III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. Vision Research, 14, 75-81.
- De Valois, R. L., Yund, E. W., & Hepler, N. (1982). The orientation and direction selectivity of cells in macaque visual cortex. Vision Research, 22, 531-544.
- Dosher, B. A., & Lu, Z. L. (1999). Mechanisms of perceptual learning. Vision Res, 39(19), 3197-3221.
- Dow, B. M., Snyder, A. Z., Vautin, R. G., & Bauer, R. (1981). Magnification factor and receptive field size in foveal striate cortex of the monkey. Experimental Brain Research, 44, 213-228.
- Drasdo, N., & Fowler, C. W. (1974). Non-linear projection of the retinal maps in a wide-angle schematic eye. British Journal of Ophthalmology, 47, 609-613.
- Dubois-Dauphin, M., Frankowski, H., Tsujimoto, Y., Huarte, J., & Martinou, J.-C. (1994). Neonatal motoneurons overexpressing the bcl-2 protooncogene in transgenic mice are protected from axotomy-induced cell death. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 91, 3309-3313.
- Elliott, D.B., Whitaker, D., & Bonette, L. (1990). Differences in the legibility of letters at contrast threshold using Pelli-Robson chart. Ophthalmic and Physiological Optics, 10, 323-326.
- Eriksen, C. W. & Rohrbaugh, J. W. (1970). Some factors determining efficiency of selective attention. American Journal of Psychology, 83, 330-342.
- Erwin, E., Baker, F. H., Busen, W. F., & Malpeli, J. G. (1999). Relationship between laminar topology and retinotopy in the rhesus lateral geniculate nucleus: Results from a functional atlas. Journal of Comparative Neurology, 407, 92-102.
- Estes, W. K., Allmeyer, D. H., & Reder, S. M. (1976). Serial position functions for letter identification at brief and extended exposure periods. Perception and Psychophysics, 19, 1-15.

- Estes, W.K. (1982). Similarity-related channel interactions in visual processing. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8, 353-382.
- Fahle, M. & Edelman, S. (1992). Long-term learning in vernier acuity: effects of stimulus orientation, range and of feedback. Vision Research, 33, 397-412.
- Fahle, M. & Schmid, M. (1988). Naso-temporal asymmetry of the visual cortex. Vision Research, 28, 293-300.
- Fahle, M., Edelman, S., & Poggio, T. (1995). Fast perceptual learning in hyperacuity. Vision Research, 35, 3003-3013.
- Farrel, B., & Pelli, D.G. (1998). Psychophysical methods, or how to measure a threshold, and why. In R. H. S. Carpenter & J. G. Robson (Eds.), Vision Research. (pp. 129-136). New York: Oxford University Press.
- Farrel, J. E. & Desmarais, M. (1990). Equating character-identification performance across the visual field. Journal of Optical Society of America A, 7, 152-159.
- Felleman, D. J. & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. Cerebral Cortex, 1, 1-47.
- Fendick, M., & Westheimer, G. (1983). Effects of practice and the separation of test targets on foveal and peripheral stereoacuity. Vision Research, 23, 145-150.
- Ferris, F. L., Freidlin, V., Kassoff, A., Green, S. B., & Milton, R.C. (1993). Relative letter and position difficulty on visual acuity charts from Early Treatment Diabetic Retinopathy Study. American Journal of Ophthalmology, 116, 735-740.
- Field, D. J., & Hess, R. F. (1996). Uncalibrated distortions vs undersampling. Vision Research, 36, 2121-2124.
- Fiorentini, A. & Berardi, N. (1981). Learning in grating waveform discrimination: specificity for orientation and spatial frequency. Vision Research, 21, 1149-1158.
- Fiorentini, A., & Berardi, N. (1981). Learning in grating waveform discrimination: specificity for orientation and spatial frequency. Vision Research, 21, 1149-1158.
- Fitzpatrick, D., Lund, J. S., & Blasdel, G. G. (1985). Intrinsic connections of macaque striate cortex: afferent and efferent connections of lamina 4A. Journal of Neuroscience, 5, 3329-3349.
- Flom, M. C. (1991). Contour interaction and the crowding effect. Probl. Optom., 3, 237-257.
- Flom, M. C., Weymouth, F. W., & Kahnemann, D. (1963). Visual resolution and contour interaction. Journal of Optical Society of America, 50, 1026-1032.
- Flynn, J. T. (1967). Spatial summation in amblyopia. Archives of Ophthalmology, 78, 470-474.
- Fox, P. T., Mintun, M. A., Raichle, M. E., Miezin, F., Allmna, J. M., & Van Essen, D. C. (1986). Mapping human visual cortex with positron emission tomography. Nature, 323, 806-809.
- Franks, J. J., & Bransford, J. D. (1971). Abstraction of visual patterns. Journal of Experimental Psychology, 90, 65-74.
- Frisen, L. (1986). Vanishing optotypes. New type of acuity test letters. Archives of Ophthalmology, 104, 1194-1198.

- Galletti, C., Fattori, P., Gamberini, M., & Kutz, D. F. (1999). The cortical visual area V6: brain location and visual topography. European Journal of Neuroscience, *11*, 3922-3936.
- Gattass, R., Gross, C. G., & Sandell, J. H. (1981). Visual topography of V2 in the macaque. Journal of Comparative Neurology, *201*, 519-530.
- Gattass, R., Rosa, M. G. P., Sousa, A. P. B., Pinon, M. C. G., Fiorani, M., & Neuenschwander, S. M. (1990). Cortical streams of visual information processing in primates. Braz.J.Med.Biol.Res., *23*, 375-393.
- Gattass, R., Sousa, A. P. B., & Rosa, M. G. P. (1987). Visual topography of V1 in the *Cebus* monkey. Journal of Comparative Neurology.
- Gegenfurtner, K. R. (1992). Praxis: Brent's algorithm for function minimization. Behavior Research Methods, Instrument & Computers, *24*, 560-564.
- Geisler, W. S. (1989). Sequential ideal-observer analysis of visual discrimination. Psychological Review, *96*, 276-314.
- Gianfranceschi, L., Fiorentini, A., & Maffei, L. (1999). Behavioural visual acuity of wild type and *bcl2* transgenic mouse. Vision Research, *39*, 569-574.
- Gilbert, C. D. & Wiesel, T. N. (1989). Columnar specificity of intrinsic horizontal and corticocortical connections in cat visual cortex. Journal of Neuroscience, *9*, 2442.
- Gilbert, C. D. & Wiesel, T. N. (1990). The influence of contextual stimuli on the orientation selectivity of cells in primary visual cortex of the cat. Vision Research, *30*, 1689-1701.
- Gilbert, C. D. (1992). Horizontal integration and cortical dynamics. Neuron, *9*, 1-13.
- Gilbert, C. D., & Wiesel, T. N. (1989). Columnar specificity of intrinsic horizontal and corticocortical connections in cat visual cortex. Journal of Neuroscience, *9*(2432), 2442
- Goldstone, R. L. (1998). Perceptual learning. Annual Review of Psychology, *1998*, 585-612.
- Gordon, I. E. (1989). Theories of Visual Perception. John Wiley & Sons.
- Gottlieb, J. P., Kusunoki, M., & Goldberg, M. E. (1998). The representation of visual salience in monkey parietal cortex. Nature, *391*, 481-484.
- Gouras, P. & Charles, S. (2000). Physiology of the retina. In Duane's Ophthalmology on CD-Rom ( J. B. Lippincott Company on CD-Rom).
- Graham, N. & Nachmias, J. (1971). Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: A Comparison of single channel and multichannel models. Vision Research, *11*, 251-259.
- Graham, N. & Robson, J. G. (1987). Summation of very close spatial frequencies: The importance of spatial probability summations. Vision Research, *27*, 1997-2007.
- Graham, N. (1980). Spatial frequency channels in human vision: detecting edges without edge detectors. In C. S. Harris (Ed.), Visual coding and adaptability (pp. 215-262). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.
- Greenlee, M. W., & Magnussen, S. (1988). Interactions among spatial frequency and orientation channels adapted concurrently. Vision Research, *28*, 1303-1310.
- Gurnsey, R. & Browse, R. A. (1987). Micropattern properties and presentation condition

- influencing visual texture discrimination. Perception and Psychophysics, 21, 1149-1154.
- Gurnsey, R., Herbert, A. M., & Kenemy, J. (1998). Bilateral symmetry embedded in noise is detected accurately only at fixation. Vision Research, 38, 3795-3803.
- Halpern, J., & Lantz, A.E. (1974). Learning to utilize information presented over sensory channels. Perception and Psychophysics, 16, 321-328.
- Harvey, L. O., Rentschler, I., & Weiss, C. (1985). Sensitivity to phase distortions in central and peripheral vision. Perception and Psychophysics, 38, 392-396.
- Hendry, S. H. C. & Yoshioka, T. Y. (1994b). A neurochemically distinct third channel in the macaque dorsal lateral geniculate nucleus. Science, 264, 575-577.
- Hess, R. F., Dakin, S. C., & Kapoor, N. (2000). The foveal crowding effect : physics or physiology? Vision Research, 40, 365-370.
- Hess, R.F., & Field, D. (1993). Is the increased spatial uncertainty in the normal periphery due to spatial undersampling or uncalibrated disarray? Vision Research, 33, 2663-2670.
- Hess, R.F., & Field, D.J. (1994). Is the spatial deficit in amblyopia due to loss of cells or uncalibrated disarray? Vision Research, 34, 3397-3406.
- Higgins, K. E., Arditi, A., & Knoblauch, K. (1996). Detection and identification of mirror-image letter pairs in central and peripheral vision. Vision Research, 36, 331-337.
- Hilz, R. & Cavonius, C. R. (1974). Functional organization of the peripheral retina: Sensitivity to periodic stimuli. Vision Research, 14, 1333-1337.
- Hilz, R., Rentschler, I., & Brettel, H. (1981). Insensitivity of peripheral vision to spatial phase. Experimental Brain Research, 43, 111-114.
- Hintzman, D.L., & Ludlam, G. (1980). Differential forgetting of prototypes and old instances: Simulation by an exemplar-based classification model. Memory and Cognition, 8, 378-382.
- Hirsch, J. A. & Gilbert, C. D. (1991). Synaptic physiology of horizontal connections in the cat's visual cortex. Journal of Neuroscience, 11, 1800-1809.
- Holden, A. L., Hayes, B. P., & Fitzke, F. W. (1987). Retinal magnification factor et the ora terminalis: a structural study of human and animal eyes. Vision Research, 27, 1229-1235.
- Hubel, D. H. & Livingston, M. S. (1987). Segregation of form, color, and stereopsis in primate area 18. Journal of Neuroscience, 7, 3378-3415.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. Journal of Physiology (London), 148, 574-591.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1974). Uniformity of monkey striate cortex: A parallel relationship between field size, scatter, and magnification factor. Journal of Comparative Neurology, 158, 295-306.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1977). Functional architecture of macaque visual cortex. Proc.R.Soc.London.Ser.B (The Ferrier Lecture), 198, 1-59.
- Hubel, D. H. (1994a). L'oeil, le cerveau et la vision. Paris: W.H. Freeman & Co.

- 
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of Physiology, 160, 106-154.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive field and functional architecture of monkey striate cortex. Journal of Physiology, 195, 215-243.
- Hughes, A. (1977). The topography of vision in mammals of contrasting life style: Comparative optics and retinal organization. In F.Crescitelli (Ed.), Handbook of Sensory Physiology (pp. 613-756). Berlin: Springer-Verlag.
- Hughes, A. (1981). Population magnitude and distribution of the major modal classes of cat retinal ganglion cell as estimated from HRP filling and a systematic survey of the soma diameter spectra for classical neurons. Journal of Comparative Neurology, 197, 303-339.
- Hurlbert, A. (2000). Learning to see through noise. Current Biology, 10(6), R231-R233
- Huttenlocher, J. (1967). Discrimination of figure orientation. Effects of relative position. Journal of Comparative and Physiological Psychology, 63, 359-361.
- Jacobs, R. J. (1979). Visual resolution and contour interaction in the fovea and periphery. Vision Research, 19, 1187-1195.
- Jacobs, R. J. (1979). Visual resolution and contour interaction in the fovea and periphery. Vision Research, 19, 1187-1195.
- Jamar, J. H. T., Kwakman, L. F. T., & Koenderink, J. J. (1984). The sensitivity of the peripheral visual system to amplitude-modulation and frequency-modulation of sine-wave patterns. Vision Research, 24, 243-250.
- Johnson, C.A., & Leibowitz, H.W. (1974). Practice, refractive error and feedback as factors influencing peripheral motion thresholds. Perception and Psychophysics, 15, 276-280.
- Johnston, A. & Wright, M. J. (1986). Matching velocity in central and peripheral vision. Vision Research, 26, 1099-1109.
- Johnston, A. (1987). Spatial scaling of central and peripheral contrast-sensitivity functions. Journal of the Optical Society of America A, 4, 1583-1593.
- Jones, B. H. (1970). Responses of single neurons in cat visual cortex to a simple and a more complex stimulus. American Journal of Physiology, 218, 1102-1107.
- Jüttner, M., & Rentschler, I. (1996). Reduced perceptual dimensionality in extrafoveal vision. Vision Research, 36, 1007-1022.
- Kaas, J. H., Heurta, M. F., Weber, J. J., & Harting, J. K. (1978). Pattern of retinal terminations and laminar organization of the lateral geniculate nucleus of primate. Journal of Comparative Neurology, 182, 517-553.
- Kajii, N., & Osaka, N. (2000). Optimal viewing position in vertically and horizontally presented Japanese words. Perception and Psychophysics, 62, 1634-1644.
- Kapadia, M. K., Ito, M., Gilbert, C.D., & Westheimer, G. (1995). Improvement in visual sensitivity by changes in local context: parallel studies in human observers and in V1 of alert monkeys. Neuron, 15, 843-856.
- Karni, A. & Sagi, D. (1991). Where practice makes perfect in texture discrimination. Proceedings National Academic Sciences USA, 88, 4966-4970.

- Karni, A., & Sagi, D. (1991). Where practice makes perfect in texture discrimination. Proceedings National Academic Sciences USA, *88*, 4966-4970.
- Katz, L. M., Levi, D. M., & Bedell, H. E. (1984). Central and peripheral contrast sensitivity in amblyopia with varying field size. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series, *58*, 351-373.
- Kennedy, H. & Bullier, J. (1985). A double-labelling investigation of the afferent connectivity to cortical areas V1 and V2 of the macaque monkey. Journal of Neuroscience, *5*, 2815-2830.
- King-Smith, P. E., & Rose, D. (1997). Principles of an adaptive method for measuring the slope of the psychometric function. Vision Research, *37*, 1595-1604.
- Klein, S. A. & Levi, D. M. (1987). Position sense of the peripheral retina. Journal of the Optical Society of America A, *4*, 1543-1553.
- Klein, S. A. and Tyler, C. W. (1981). Phase discrimination using single and compound gratings. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *20* (Suppl.), 124.
- Koenderink, J. J., Bouman, M. A., Bueno de Mesquita, A. E., & Slappendel, S. (1978b). Perimetry of contrast detection thresholds of moving sine wave patterns. Journal of Optical Society of America, *68*, 845-865.
- Kooi, F. L., Toet, A., Tripathy, S. P., & Levi, D. M. (1994). The effect of similarity and duration on spatial interaction in peripheral vision. Spatial Vision, *8*, 255-279.
- Kooijman, A. C. (1983). Light distribution on the retina of a wide-angle theoretical eye. Journal of Optical Society of America, *73*, 1544-1550.
- Kuffler, S. W. (1953). Discharge pattern and functional organization of mammalian retina. Journal of Neurophysiology, *16*, 37-68.
- Kulikowski, J. J., Abadi, R. V., & King-Smith, P. E. (1973). Orientation selectivity of grating and line detectors in human vision. Vision Research, *13*, 1479-1486.
- Lachica, E. A. & Casagrande, V. A. (1992). Direct W-like geniculate projections to the cytochrome oxidase (CO) blobs in primate visual cortex: axon morphology. Journal of Comparative Neurology, *319*, 141-158.
- Lachica, E. A., Beck, P. D., & Casagrande, V. A. (1992). Parallel pathways in macaque monkey striate cortex: anatomy defined columns in layer III. Proc Natl Acad Sci USA, *89*, 3566-3570.
- Lamme, V. A. F. (1995). The neurophysiology of figure-ground segregation in primary visual cortex. Journal of Neuroscience, *15*, 1605-1615.
- Lamme, V. A. F. (1995). The neurophysiology of figure-ground segregation in primary visual cortex. Journal of Neuroscience, *15*, 1605-1615.
- Lashley, K.S. (1938). The mechanism of vision, XV. Preliminary studies of the rat's capacity for detailed vision. Journal of General Psychology, *18*, 123-193.
- Leat, S. J., Li, W., & Epp, K. (1999). Crowding in central and peripheral eccentric vision: The effects of contour interaction and attention. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *40*, 504-512.
- Lee, B. B., Martin, P. R., & Valberg, A. (1988). The physiological basis of heterochromatic flicker photometry demonstrated in the ganglion cells of the macaque

- monkey. Journal of Physiology, 404, 323-347.
- Legge, G. E., & Kersten, D. (1987). Contrast discrimination in peripheral vision. Journal of Optical Society of America A., 4, 1594-1598.
- Legge, G. E., Isenberg, L. M., & LaMay, J. M. (1992). Psychophysics of reading XII. Clinical predictors of low-vision reading speed. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 33, 677-687.
- Legge, G. E., Rubin, G. S., & Pelli, D. G. (1985). Psychophysics of reading II. Low vision. Vision Research, 25, 253-265.
- Lettvin, J. Y. (1976). On seeing sidelong. The Sciences, 16, 10-20.
- Levi, D. M. & Klein, S. A. (1985). Vernier acuity, crowding and amblyopia. Vision Research, 25, 979-991.
- Levi, D. M. & Polat, U. (1996). Neural plasticity in adults with amblyopia. Proceedings National Academic Sciences USA, 93, 6830-6834.
- Levi, D. M. (1991). Sensory processing in strabismic and anisometric amblyopia. In K.J.Ciuffreda, D. M. Levi, & A. Selenow (Eds.), Amblyopia, Basic and Clinical Aspects. (pp. 69-144). Boston: Butterworth-Hinemann.
- Levi, D. M. (2000). Crowding is size invariant in foveal vision, but not in peripheral or amblyopic vision. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 41 (Suppl.), s534
- Levi, D. M., Harwerth, R. S., Pass, A. F., & Ververloh, J. (1981). Edge sensitive mechanisms in humans with abnormal visual experience. Experimental Brain Research, 43, 270-280.
- Levi, D. M., Klein, S. A., & Aitsebaomo, A. P. (1985). Vernier acuity, crowding and cortical magnification. Vision Research, 25, 963-977.
- Levi, D. M., Klein, S. A., & Yap, Y.L. (1987). Positional uncertainty in peripheral and amblyopic vision. Vision Research, 27, 581-597.
- Levi, D. M., Polat, U., & Hu, Y.-S. (1997). Improvement in vernier acuity with amblyopia: Practice makes better. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 38, 1493-1510.
- Levitt, J. B., & Lund, J. S. (1997). Contrast dependence of contextual effects in primate visual cortex. Nature, 387, 73-76.
- Liu, L. & Arditi, A. (2001). How crowding affects letter confusion. Optometry & Vision Science, 78, 50-55.
- Liu, L. (2001). Dual orientation mechanisms in contour interaction. Vision Research, 41, 853-858.
- Livingston, M. S. & Hubel, D. H. (1988a). Segregation of form, color, movement and depth: anatomy, physiology and perception. Science, 240, 740-749.
- Livingston, M. S. & Hubel, D. H. (1988b). Specificity of intrinsic connections in primate primary visual cortex. Journal of Neuroscience, 4, 2830-2835.
- Livingston, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for magnocellular defect in developmental dyslexia. Proceedings National Academic Sciences USA, 88, 7943-7947.
- Logothetis, N. K., & Scheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. Annual Review of Neuroscience, 19, 577-621.

- Long, K. O. & Fisher, S. K. (1983). The distribution of photoreceptors and ganglion cells in the California ground squirrel. Journal of Comparative Neurology, *221*, 329-340.
- Loomis, J. M. (1978). Lateral masking in foveal and eccentric vision. Vision Research, *18*, 335-338.
- Lotmar, W. (1976). Theoretical model for the eye of the new-born infant. Albrecht v. Graefes Arch. Kli. Exp. Ophthal., *198*, 179-185.
- Lotmar, W. (1983). Theoretical eye model with aspherics. Journal of Optical Society of America, *61*, 1522-1529.
- Loveless, N. E., Brebner, J., & Hamilton, P. (1970). Bisensory presentation of information. Psychological Bulletin, *73*, 161-199.
- Ludvig, E. (1941). Extrafoveal visual acuity as measured with Snellen test-letters. American Journal of Ophthalmology, *24*, 303-310.
- Malpeli, J. G. & Baker, F. H. (1975). The representation of the visual field in the lateral geniculate nucleus of Macaca Mulata. Journal of Comparative Neurology, *161*, 569-564.
- Malpeli, J. G. & Baker, F. H. (1996). Laminar and retinotopic organization of the macaque lateral geniculate nucleus : magnocellular and parvocellular magnification functions. Journal of Comparative Neurology, *375*, 363-377.
- Manny, R. E., Fern, K. D., Loshin, D. S., & Martinez, A. T. (1988). The effects of practice on contour interaction. Clin. Vis. Sci., *3*, 59-67.
- Martinou, J.-C., Dubois-Dauphin, M., Staple, J. K., Rodriguez, A., Frankowski, H., Missotten, M., Albertini, P., Talabot, D., Catsicas, S., Petra, C., & Huarte, J. (1995). Overexpression of Bcl-2 transgenic mice protects neurons from naturally occurring death and experimental ischemia. Neuron, *13*, 1017-1030.
- Mayer, M. J. (1983). Practice improves adults' sensitivity to diagonals. Vision Research, *23*, 547-550.
- McKee, S. P. & Westheimer, G. (1978). Improvement in vernier acuity with practice. Perception and Psychophysics, *24*, 258-262.
- Melmoth, D. R., Kukkonen, H. T., Mäkelä, P. K., & Rovamo, J. (2000). The effect of contrast and size scaling on face perception in foveal and extrafoveal vision. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *41*, 2811-2819.
- Melmoth, D.R., Kukkonen, H.T., Mäkelä, P., & Rovamo, J. (2000). Scaling extrafoveal detection of distortion in a face and grating. Perception, *29*, 1117-1126.
- Mohn, G. & Van Hof-Van Duin, J. (1991). Development in spatial vision. In D. Regan (Ed.), Spatial vision ( London: McMillan).
- Moody, S. L., Wise, S. P., di Pellegrino, G., & Zipser, D. (1998). A model that accounts for activity in primate frontal cortex during a delayed matching-to-sample task. Journal of Neuroscience, *18*, 399-410.
- Morrone, M. C., Burr, D. C., & Spinelli, D. (1989). Discrimination of spatial phase in central and peripheral vision. Vision Research, *29*, 433-445.
- Myerson, J., Manis, P. B., Miezin, F. M., & Allman, J. M. (1977). Magnification in striate cortex and retinal ganglion cell layer of owl monkey: A quantitative comparison.



---

Science, 198(4319), 855-857.

- Nakamura, H., Gattass, R., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1993). The modular organization of projections from areas V1 and V2 to areas V4 and TEO in macaques. Journal of Neuroscience, 13, 3681-3691.
- Nazir, T. A. & O'Regan, J. K. (1990). Some results on translation invariance in the human visual system. Spatial Vision, 5, 81-100.
- Nazir, T. A. (1991). Effects of lateral masking and spatial precueing on Gap-resolution in central and peripheral vision. Vision Research, 32, 771-777.
- Nelson, J.I., & Frost, B.J. (1978). Orientation selective inhibition from beyond the classical visual receptive field. Brain Research, 139, 359-374.
- Nelson, J.I., & Frost, B.J. (1985). Intracortical facilitation among co-orientated, co-axially aligned simple cells in cat striate cortex. Experimental Brain Research, 61, 54-61.
- Nelson, K. (1974). Concept, word and sentences: Inter-relations in acquisition and development. Psychological Review, 81, 267-285.
- Nickerson, R.S. (1973). Intersensory facilitation of reaction time: Energy summation or preparation enhancement? Psychological Review, 80, 489-509.
- Noble, J. (1968). Paradoxical interocular transfer of mirror image discrimination in the optic chiasm sectioned monkey. Brain Research, 10, 127-151.
- Nothdurft, H. C. (1985). Orientation sensitivity and texture segmentation in patterns with different line orientation. Vision Research, 25, 551-560.
- Oehler, R. (1985). Spatial interactions in the rhesus monkey retina: A behavioural study using the Westheimer paradigm. Experimental Brain Research, 59, 499-510.
- Øesterberg, G. A. (1935). Topography of the layer of rods and cones in the human retina. Acta Ophthalmologica, Supplement, 6, 1-103.
- Oppenheim, A. V. & Lim, J. S. (1981). The importance of phase in signals. Proceedings of the IEEE, 69, 529-541.
- O'Toole, A. J. & Kersten, D. J. (1992). Learning to see random-dot stereograms. Perception, 21, 227-243.
- Packer, O., Hendrickson, A. E., & Curcio, C. A. (1989). Photoreceptor of the adult pigtail macaque (*Macaca nemestina*) retina. Journal of Comparative Neurology, 298, 472-494.
- Palmer, S.E. (1999). Vision Science: Photons to Phenomenology. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Pascal, E. & Abadi, R. V. (1995). Contour interaction in the presence of congenital nystagmus. Vision Research, 35, 1785-1789.
- Perkel, D. J., Bullier, J., & Kennedy, H. (1986). Topography of the afferent connectivity of area 17 of the macaque monkey: a double labelling study. Journal of Comparative Neurology, 253, 374-402.
- Perry, V. H. & Cowey, A. (1984). Retinal ganglion cells that project to the superior colliculus and pretectum in the macaque monkey. Neuroscience, 12, 1125-1137.
- Perry, V. H. & Cowey, A. (1985). The ganglion cell and cone distributions in the monkey's retina: implications for central magnification factors. Vision Research, 25,

1795-1810.

- Perry, V. H. & Cowey, A. (1988). The lengths of the fibers of Henle in the retina of macaque monkeys: Implications for vision. Neuroscience, *25*, 225-236.
- Perry, V. H., Oehler, R., & Cowey, A. (1984). Retinal ganglion cells that project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. Neuroscience, *12*, 1101-1123.
- Pettigrew, J. D., Dreher, B., Hopkins, C. S., McCall, M. J., & Brown, M. V. (1988). Peak density and distribution of ganglion cells in retinæ of microchiropteran bats: implications for visual acuity. Brain Behaviour and Evolution, *32*, 39-56.
- Piotrowski, L. N. & Campbell, F. W. (1982). A demonstration of the visual importance and flexibility of spatial-frequency amplitude and phase. Perception, *11*, 337-346.
- Poggio, T., Fahle, M., & Edelman, S. (1992). Fast perceptual learning in visual hyperacuity with practice. Science, *256*, 1018-1021.
- Polat, U. & Sagi, D. (1994). Spatial interactions in human vision: from near to far via experience-dependent cascades of connections. Proceedings National Academic Sciences USA, *91*, 1206-1209.
- Polat, U., & Norcia, A. M. (1996). Neurophysiological evidence for contrast dependent long-range facilitation and suppression in the human visual cortex. Vision Research, *36*, 73-78.
- Polat, U., & Norcia, A. M. (1998). Elongated physiological summation pools in human visual cortex. Vision Research, *38*, 3735-3741.
- Polat, U., & Sagi, D. (1993). Lateral interaction between spatial channels: Suppression and facilitation revealed by lateral masking experiments. Vision Research, *33*, 993-999.
- Polat, U., & Sagi, D. (1994). The architecture of perceptual spatial interactions. Vision Research, *34*, 73-78.
- Polat, U., Mizobe, K., Pettet, M. W., Kasamatsu, T., & Norcia, M. (1998). Collinear stimuli regulate visual responses depending on cell's contrast threshold. Nature, *391*, 580-584.
- Popovic, Z. & Sjöstrand, J. (2001). Resolution, separation of retinal ganglion cells, and cortical magnification in humans. Vision Research, *41*, 1313-1319.
- Posner, M. I., & Keele, S. W. (1968). On the genesis of abstract ideas. Journal of Experimental Psychology, *83*, 304-308.
- Posner, M. I., & Keele, S. W. (1970). Retention of abstract ideas. Journal of Experimental Psychology, *83*, 304-308.
- Rentschler, I. & Treutwein, B. (1985). Loss of spatial phase relationship in extrafoveal vision. Nature, *313*, 308-310.
- Rentschler, I., & Treutwein, B. (1985). Loss of spatial phase relationship in extrafoveal vision. Nature, *313*, 308-310.
- Riggs, L. A. (1965). Visual acuity. In H.C. Graham (Ed.), Vision and visual perception (pp. 321-349). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Riopelle, A.J., Rahm, U., Itoigawa, N., & Draper, W.A. (1964). Discrimination of

- mirror-image patterns by rhesus monkeys. Perceptual and Motor Skills, *19*, 383-389.
- Robson, J. G. & Graham, N. (1981). Probability summation and regional variations in contrast sensitivity curves across the visual field. Vision Research, *21*, 408-418.
- Rockland, K. S. & Lund, J. S. (1983). Intrinsic laminar lattice connections in primate visual cortex. Journal of Comparative Neurology, *216*, 303-318.
- Rodieck, R. W. & Watanabe, M. (1993). Survey of the morphology of macaque retinal ganglion cells that project to the pretectum, superior colliculus, and parvocellular laminae of the lateral geniculate nucleus. Journal of Comparative Neurology, *338*, 289-303.
- Rodieck, R. W. (1998). The First Steps in Seeing. Massachusetts: Sinauer Associates.
- Rollenhagen, J.E., & Olson, C.R. (2000). Mirror-image confusion single neurons of the macaque inferotemporal cortex. Science, *287*, 1506-1508.
- Rolls, E. T. & Cowey, A. (1970). Topography of the retina and striate cortex and its relationship to visual acuity in rhesus monkeys and squirrel monkeys. Experimental Brain Research, *10*, 298-310.
- Rosa, M. G. P., Schmid, M. L., Krubitzer, L. A., & Pettigrew, J. D. (1993). Retinotopic organization of the primary visual cortex of flying foxes (*Pteropus Poliocephalus* and *Pteropus scapulatus*). Journal of Comparative Neurology, *335*, 55-72.
- Rosa, M. G., Sousa, A. P., & Gattass, R. (1988). Representation of the visual field in the second visual area in the Cebus monkey. J Comp Neurol., *275*, 326-345.
- Rovamo, J. & Virsu, V. (1979). An estimation and application of the human cortical magnification factor. Experimental Brain Research, *37*, 495-510.
- Rovamo, J., Mäkelä, P., Näsänen, R., & Whitaker, E. (1997). Detection of geometric image distortions at various eccentricities. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *38*, 1029-1039.
- Rovamo, J., Virsu, V., & Näsänen, R. (1978). Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision. Nature (London), *271*, 54-56.
- Rovamo, J., Virsu, V., Laurinen, P., & Hyvarinen, L. (1982). Resolution of gratings oriented along and across meridians in peripheral vision. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *23*, 666-670.
- Rudel, R.G., & Teuber, H.L. (1963). Discrimination of direction of line in children. Journal of Comparative and Physiological Psychology, *56*, 892-898.
- Saarinen, J. (1987). Perception of positional relationships between line segments in eccentric vision. Perception, *16*, 583-591.
- Saarinen, J. (1988). Detection of mirror symmetry in random dot patterns at different eccentricities. Vision Research, *28*, 755-759.
- Saarinen, J., & Levi, D. M. (1995). Perceptual learning in vernier acuity: what is learned? Vision Research, *35*, 519-527.
- Saarinen, J., Rovamo, J., & Virsu, V. (1987). Texture discrimination at different eccentricities. Journal of Optical Society of America A., *8*, 1699-1703.
- Saarinen, J., Rovamo, J., & Virsu, V. (1989). Analysis of spatial structure in eccentric vision. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *30*, 293-296.

- Sachs, M. B., Nachmias, J., & Robson, J. G. (1971). Spatial-frequency channels in human vision. Journal of Optical Society of America, *61*, 1176-1186.
- Sagi, D. & Tanne, D. (1994). Perceptual learning : learning to see. Current Opinion in Neurobiology, *4*, 195-199.
- Sagi, D., & Hochstein, S. (1983). Discriminability of suprathreshold compound spatial frequency gratings. Vision Research, *23*, 1595-1606.
- Sagi, D., & Julesz, B. (1985). "Where" and "what" in vision. Science, *228*, 1217-1219.
- Salin, P.-A. & Bullier, J. (1995). Cortical connections in the visual system: Structure and function. Physiological Reviews, *75*, 107-154.
- Sandusky, A. & Ahumada, A. (1971). Contrast in detection with gated noise. J Acoust.Soc Am., *49*, 1790-1794.
- Schaafsma, S. J. & Duysens, J. (1996). Neurons in the ventral intraparietal area of awake macaque monkey closely resemble neurons in the dorsal part of the medial superior temporal area in their responses to optic flow patterns. Journal of Neurophysiology, *76*, 4056-4068.
- Schein, S. J. & de Monasterio, F. M. (1987). Mapping of retinal and geniculate neurons onto striate cortex of macaque. Journal of Neuroscience, *7*, 996-1009.
- Schein, S. J. (1988). Anatomy of macaque fovea and spatial densities of neurons in foveal representation. Journal of Comparative Neurology, *269*, 479-505.
- Schiller, P. H. & Logothetis, N. K. (1990). The color-opponent and broad-band channels of the primate visual system. Trends Neuroscience, *13*, 392-398.
- Schiller, P. H., Finlay, B., & Volman, S. F. (1976). Quantitative studies of single cell properties in monkey striate cortex. II. Orientation specificity and ocular dominance. Journal of Neurophysiology, *39*, 1320-1333.
- Schoups, A. A., Vogels, R., & Orban, G. A. (1995). Human perceptual learning in identifying the oblique orientation: retinotopy, orientation specificity and monocularity. J Physiol, *483 ( Pt 3)*, 797-810.
- Searle, A.E.T., Wild, J.M., Shaw, D. E., & O'Neill, E. C. (1991). Time-related variation in normal automated static perimetry. Ophthalmology, *98*, 701-707.
- Sekuler, R. & Blake, R. (1994). Perception.(3 ed.) Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Séré, B., Marendaz, C., & Héroult, J. (2000). Nonhomogeneous resolution of images of natural scenes. Perception, *29*, 1403-1412.
- Sereno, A. B. & Maunsell, J. H. R. (1998). Shape selectivity in primate lateral intraparietal cortex. Nature, *395*, 500-503.
- Shapley, R. & Enroth-Cugell, C. (1984). Visual adaptation and retinal gain controls. Prog.Ret.Res., *13*, 263-346.
- Shapley, R. & Perry, V. H. (1986). Cat and monkey retinal ganglio cells and thier visual functional roles. Trends Neuroscience, *9*, 229-235.
- Sherman, S. M. & Koch, C. (1986). The control of retinogeniculate transmission in the mammalian lateral geniculate nucleus. Brain Research, *63*, 1-20.
- Shneider, G. E. (1969). Two visual systems. Science, *163*, 895-902.
- Sillito, A. M. & Jones, H. E. (1996). Context-dependent interactions and visual

- processing in V1. Journal of Physiology (Paris), 90, 205-209.
- Sillito, A.M. (1979). Inhibitory mechanisms influencing complex cell orientation selectivity and their modification at high resting discharge levels. Journal of Physiology (London), 289, 33-53.
- Sillito, A.M., Grieve, K.L., Jones, H.E., Cudeiro, J., & Davis, J. (1995). Visual cortical mechanisms detecting focal orientation discontinuities. Nature, 378, 492-496.
- Silveira, L. C. L., Picanço-Diniz, C. W., Sampaio, L. F. S., & Oswaldo-Cruz, E. (1989). Retinal ganglion cell distribution in the Cebus monkey: A comparison with the cortical magnification factors. Vision Research, 29, 1471-1483.
- Singer, W. (1993). Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. Annual Review of Physiology, 55, 349-374.
- Sireteanu, R. & Fronius, M. (1981). Naso-temporal asymmetries in human amblyopia: Consequences of long-term interocular suppression. Vision Research, 21, 1055-1063.
- Sloan, L. L., Rowland, W. M., & Altman, A. (1994). Comparison of three types of test target for measurement of visual acuity. Quarterly Review of Ophthalmology and Otorhinolaryngology, 8, 4-17.
- Smith, N. (1928). Matching ability in first grade reading. Journal of Educational Psychology, 19, 560-571.
- Steele, G. E., Weller, R. E., & Cusick, C. G. (1991). Cortical connections of the caudal subdivision of the dorsal area (V4) in monkeys. Journal of Comparative Neurology, 306, 495-520.
- Steinberg, R. H., Reid, M., & Lacy, P. L. (1973). The distribution of rods and cones in the retina of the cat (*Felis domesticus*). Journal of Comparative Neurology, 148, 229-248.
- Steinman, S. B. (1987). Serial and parallel search in pattern vision. Perception, 16, 389-398.
- Stone, J. & Johnston, E. (1981a). The topography of primate retina: A study of the human, bushbaby, and new- and Old-world monkeys. Journal of Comparative Neurology, 196, 205-224.
- Stone, J. (1978). The number and distribution of ganglion cells in the cat retina. Journal of Comparative Neurology, 180, 753-772.
- Straatsma, B. R. (1969). Topography of the adult human retina. In B.R. Straasma, R. A. Allen, M. O. Hall, & F. Crescitelli (Eds.), The Retina: Morphology, Function and Clinical Characteristics (California: University of California Press).
- Strasburger, H. & Rentschler, I. (1996). Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. European Journal of Neuroscience, 8, 1787-1791.
- Strasburger, H., Harvey, L. O., & Rentschler, I. (1991). Contrast thresholds for identification of numeric characters in direct and eccentric view. Perception and Psychophysics, 49, 495-508.
- Strasburger, H., Rentschler, I., & Harvey, L. O. J. (1994). Cortical magnification fails to predict visual recognition. European Journal of Neuroscience, 6, 1583-1588.

- Strong, G., & Woo, G. C. (1985). A distance visual acuity chart incorporating some new design features. Archives of Ophthalmology, 103, 44-46.
- Stuart, J. A. & Burian, H. M. (1962). A study of separation difficulty : Its relationship to visual acuity in normal and amblyopic eyes. American Journal of Ophthalmology, 53, 471-477.
- Sußmann, C. (1993). Die wirkung des buchstabenstandes bei der buchstaben-und wortidentifikation. Thèse Doctorale, .
- Swanson, W. H. & Wilson, H. R. (1985). Eccentricity dependence of contrast matching and oblique masking. Vision Research, 25, 1285-1295.
- Teller, D. Y. (1990). The domain of visual science. In L.Spillman & J. S. Werner (Eds.), Visual Perception: The Neurophysiological Foundations (pp. 11-21). New York: Academic Press.
- Teller, D. Y., & Pugh, E. N., Jr. (1983). Locus questions in visual science. In J. D. Mollon & T. Sharpe (Eds.), Colour Vision: Physiology and Psychophysics. (pp. 12-13). New York: Academic Press.
- Temme, L. A., Malcus, L., & Noell, W.K. (1985). Peripheral visual field is radially organized. American J.Opt.Phys.Opt., 62, 545-554.
- Thibos, L. N., Still, D. L., & Bradley, A. (1996). Characterization of spatial aliasing and contrast sensitivity in peripheral vision. Vision Research, 36, 249-258.
- Thomas, J. P. & Knoblauch, K. (1998). What do viewers look for when detecting a luminance pulse? Investigative Ophthalmology & Visual Science, 39 (Suppl.), S404.
- Thomas, J. P. (1987). Effect of eccentricity on the relationship between detection and identification. Journal of Optical Society of America A., 4, 1599-1605.
- Thomas, J. P., & Shimamura, K. (1975). Inhibitory interaction between visual pathways tuned to different orientations. Vision Research, 15, 1373-1380.
- Tjan, B. S., Chung, S .T. L., & Oliensis, J. (2001). Contour detours: how more could be less for crowding. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 42 (Suppl.), s515
- Todrin, D. C., & Blough, D. S. (1983). The discrimination of mirror-image forms by pigeons. Perception and Psychophysics, 34, 397-402.
- Toet, A. & Levi, D. M. (1992). The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. Vision Research, 32, 1349-1357.
- Tolhurst, D. J., & Barfield, L. P. (1978). Interaction between spatial frequency channels. Vision Research, 18, 951-958.
- Tononi, G., Sporns, O., & Edelman, G. M. (1992). Reentry and the problem of integrating multiple areas: simulation of dynamic integration in the visual system. Cerebral Cortex, 2, 310-335.
- Tootell, R. B. H., Silverman, M. S., Switkes, E., & De Valois, R. L. (1982). Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primate striate cortex. Science, 218, 902-904.
- Tootell, R. B. H., Switkes, E., Silverman, M. S., & Hamilton, S. L. (1988). Functional anatomy of macaque striate cortex. II. Retinotopic organization. Journal of Neuroscience, 8, 1531-1568.
- Toth, L., Rao, S.C., Kim, D.S., Somers, D., & Sur, M. (1996). Subthreshold facilitation

- and suppression in primary visual cortex revealed by intrinsic signal imaging. Proceedings National Academic Sciences USA, 393, 9869-9874.
- Traquair, H. M. (1938). An Introduction to Clinical Perimetry. London: Henry Kimpton.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. Cognitive Psychology, 12, 97-136.
- Treisman, A. M. (1985). Preattentive processing in vision. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 31, 156-177.
- Tyler, C. W. & Hardage, L. (1995). Mirror symmetry detection predominance of second-order pattern processing throughout the visual field. In C.W.Tyler (Ed.), Human symmetry perception and its computational analysis. (pp. 151-171). Utrecht: VSP Publishers.
- Ungeleider, L. G. & Desimone, R. (1986). Cortical connections of visual area MT in the macaque. Journal of Comparative Neurology, 248, 190-222.
- Ungeleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D.J.Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), Analysis of visual behaviour. (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Van Buren, J. M. (1963). The retinal ganglion cell layer. Illinois: Thomas Springfield.
- Van Doorn, A. J., Koenderink, J. J., & Bouman, M. A. (1972). The influence of retinal inhomogeneity on the perception of spatial patterns. Kybernetik, 10, 223-230.
- Van Essen, D. C. & Maunsell, J. H. R. (1983). Hierarchical organization and functional streams in the visual cortex. Trends in Neuroscience 370-375.
- Van Essen, D. C. (1985). Functional organization of primate visual cortex. In A.Peters & E. G. Jones (Eds.), Cerebral Cortex(pp. 259-329). New York: Plenum.
- Van Essen, D. C., Newsome, W. T., & Maunsell, J. H. R. (1984b). The visual field representation in striate cortex of macaque monkey: Asymmetries, anisotropies and individual variability. Vision Research, 24, 429-448.
- Virsu, V., & Rovamo, J. (1979). Visual resolution, contrast sensitivity and cortical magnification factor. Experimental Brain Research, 37, 475-494.
- Virsu, V., Näsänen, R., & Osmoviita, K. (1987). Cortical magnification and peripheral vision. Journal of Optical Society of America A, 4, 1568-1578.
- Virsu, V., Rovamo, J., Laurinen, P., & Näsänen, R. (1982). Temporal contrast sensitivity and the cortical magnification. Vision Research, 22, 1211-1217.
- Wallace, G. K. (1969). The critical distance of interaction in the Zöllner illusion. Perception and Psychophysics, 5, 261-264.
- Wässle, H., Grünert, U., Röhrenbeck, J., & Boycott, B. B. (1990a). Retinal ganglion cell density and cortical magnification factor in the primate. Vision Research, 30, 1897-1911.
- Wässle, H., Grünert, U., Röhrenbeck, J., & Boycott, B. B. (1990b). Retinal ganglion cell density and cortical magnification factor in the primate. Vision Research, 30, 1897-1911.
- Watanabe, M. & Rodieck, R. W. (2001). Parasol and midget ganglion cells of the primate retina. Journal of Comparative Neurology, 289, 434-454.

- Watanabe, S. (1985). Pattern Recognition: Human and Mechanical. New York: John Wiley.
- Watson, A. B. (1979). Probability summation over time. Vision Research, *19*, 515-552.
- Watson, A. B. (1982). Summation of grating patches indicates many types of detectors at one retinal location. Vision Research, *22*, 17-25.
- Watson, A. B. (1982). Summation of grating patches indicates many types of detectors at one retinal location. Vision Research, *22*, 17-25.
- Watson, A. B. (1987). Estimation of local spatial scale. Journal of the Optical Society of America A, *4*, 1579-1582.
- Webb, S. V. & Kaas, J. H. (1976). The sizes and distribution of ganglion cells in the retina of the owl monkey. *Aotus trivirgatus*. Vision Research, *16*, 1247-1254.
- Wertheim, T. (1894). Über die indirekte sehschärfe. Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane., *7*, 172-189.
- Westheimer, G. & Hauske, G. (1975). Temporal and spatial interference with vernier acuity. Vision Research, *15*, 1137-1141.
- Westheimer, G. (1979). The spatial sense of the eye. Investigative Ophthalmology & Visual Science, *18*, 893-912.
- Westheimer, G. (1982). The spatial grain of the perifoveal visual field. Vision Research, *22*, 157-162.
- Westheimer, G. (1987). Visual acuity. In R. A. Moses & W. M. Jr. Hart (Eds.), Adler's Physiology of the eye: Clinical application. (pp. 415-428). St Louis, Missouri: The C. V. Mosby Company.
- Westheimer, G. (2001). Is peripheral visual acuity susceptible to perceptual learning in the adult ? Vision Research, *41*(1), 47-52.
- Westheimer, G., Shimamura, K., & McKee, S. P. (1976). Interference with line-orientation sensitivity. Journal of Optical Society of America A, *66*, 332-338.
- Weymouth, F. W., Hines, D. C., Acres, L.H., & Raaf, J. E. (1928). Visual acuity within the area centralis and its relation to eye movements and fixation. American Journal of Ophthalmology, *11*, 947-960.
- Whitaker, D., Mäkelä, P., Rovamo, J., & Latham, K. (1992). The influence of eccentricity on position and movement acuities as revealed by spatial scaling. Vision Research, *32*, 1913-1930.
- Wikler, K. C., Williams, R. W., & Rakic, P. (1990). Photoreceptor mosaic: Number and distribution of rods and cones in the Rhesus monkey retina. The Journal of Comparative Neurology, *297*, 499-508.
- Williams, C. B., & Hess, R. F. (1998). Relationship between facilitation at threshold and suprathreshold contour integration. Journal of the Optical Society of America A, Optical Image and Scientific Vision, *15*, 2046-2051.
- Wilson, H. R., Levi, D. M., Maffei, L., Rovamo, J., & De Valois, R. (1990). The perception of form: Retina to striate cortex. In L. Spillman & J. S. Werner (Eds.), Visual perception: The neurophysiology foundations. (pp. 231-271). New York: Academic Press, Inc.



- 
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2: a revised model of visual search. Psychonomic Bulletin & Review, 1, 202-238.
- Wolford, G. & Chambers, L. (1983). Lateral masking as a function of spacing. Perception and Psychophysics, 33, 129-138.
- Wolford, G. & Hollingsworth, S. (1974). Lateral masking in visual information processing. Perception and Psychophysics, 16, 315-320.
- Wood, J. M., Wild, J. M., Hussey, M. K., & Crews, S.J. (1987). Serial examination of the normal visual field using Octopus automated projection perimetry. Evidence for a learning effect. Acta Ophthalmol.(Copenh), 65(3), 326-333.
- Wörgötter, F. & Eysel, U. T. (2000). Context, state and receptive field of striatal cortex cells. Trends in Neuroscience, 23, 497-503.
- Wright, M. J. (1987). Spatiotemporal properties of grating motion detection in the center and periphery of the visual field. Journal of the Optical Society of America A, 4, 1627-1633.
- Xing, J., & Heeger, D. J. (2000). Center-surround interactions in foveal and peripheral vision. Vision Research, 40, 3065-3072.
- Yap, Y.L., Levi, D. M., & Klein, S. A. (1987). Peripheral hyperacuity: isoeccentric bisection is better than radial bisection. Journal of the Optical Society of America A, 4, 1562-1567.
- Yukie, M. & Iwai, E. (1985). Laminar origin of direct projection from cortex area V1 to V4 in the rhesus monkey. Brain Research, 346, 383-386.
- Zeki, S. M. (1969). Representation of central visual fields in prestriate cortex of monkey. Brain Research, 346, 383-386.
- Zeki, S. M. (1978). Uniformity and diversity in of structure and function in rhesus monkey prestriate visual cortex. Journal of Physiology London, 277, 273-290.
- Zeki, S. M. (1980). A direct projection from area V1 to area V3A of rhesus monkey visual cortex. Proc.R.Soc.(London) B.Biol.Sci., 207, 499-506.
- Zipser, K., Lamme, V. A., & Schiller, P. H. (1996). Contextual modulation in primary visual cortex. Journal of Neuroscience, 16, 7376-7389.