

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE
PRESENTÉ A
L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN (PSYCHOLOGIE)

PAR
MADELEINE DIGNARD

ROLE DU CORPS CALLEUX DANS LA STEREOPSIE
EN L'ABSENCE DU CHIASMA OPTIQUE

FEVRIER 1987

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Table des matières

	<u>Page</u>
Introduction.....	2
Chapitre premier - Contexte théorique et expérimental	
Organisation sommaire du système visuel.....	6
Vision binoculaire.....	14
Travaux psycho-physiques.....	17
Structures anatomiques impliquées dans la binocularité.....	24
Effets comportementaux des lésions calleuses et chiasmatiques dans la binocularité.....	29
Chapitre II - Présentation et analyse des résultats	
Sujets.....	38
Test d'habileté stéréoscopique (T.N.O.).....	40
Test de stéréopsie globale.....	43
Test de stéréopsie grossière-objets.....	49
Test de stéréopsie grossière-lumière.....	56
Chapitre III - Présentation et analyse des résultats	
Sujets.....	59
Méthode et analyse.....	59
Données brutes.....	59
Rendements des groupes.....	62
Chapitre IV - Interprétation des résultats et discussion....	
Conclusion.....	79

	<u>Page</u>
Appendice A - Protocole expérimental.....	83
Appendice B - Reproduction du test anaglyptique T.N.O.....	106
Remerciements.....	112
Références.....	113

Sommaire

Le but de cette expérience est d'évaluer la contribution du corps calleux, en l'absence du chiasma optique, dans la réalisation de la binocularité dans l'axe central.

La parallaxe binoculaire fait en sorte que les objets relativement rapprochés forment des images légèrement disparates sur les deux rétines. Le cortex visuel profite de cette disparité dite rétinienne pour évaluer la profondeur relative de l'objet fixé. La perception du relief par le biais de la disparité rétinienne est appelée la stéréopsie. Cette dernière dépend, au point de vue physiologique, des cellules visuelles corticales qui reçoivent leurs afférences binoculaires principalement à travers le chiasma optique et secondairement, le corps calleux.

Etant donné l'organisation connue des voies visuelles, la stéréopsie fait ressortir une problématique singulière si l'on prend en considération uniquement le champ visuel central. Présenter un objet dans l'axe médian, devant le point de fixation, forme sur les hémirétines temporales des images qui projettent dans les hémisphères différents. Dans le même axe, un objet situé derrière le point de fixation stimule les hémirétines nasales qui projettent dans les hémisphères controlatéraux via le chiasma optique.

Il existe au niveau du méridien vertical une bande d'environ 1.0 degré située de part et d'autre de la limite des deux hémichamps (Innocenti, 1980), capable d'assumer dans l'axe médian ce phénomène d'origine rétinienne qu'est la stéréopsie. Cependant, les travaux réalisés tant chez les humains que chez les animaux chiasmatomisés et callosotomisés font ressortir l'implication prioritaire du corps calleux dans la vision stéréoscopique surtout dans l'axe médian.

Introduction

Depuis la découverte en électrophysiologie de cellules corticales binoculaires (Bishop, 1971) répondant à l'input des deux yeux et prouvant l'existence d'une fusion binoculaire, deux types de perception binoculaire de la profondeur ont été analysés. Le premier, la stéréopsie fine, fait appel à la perception du relief et recouvre le phénomène de la disparité rétinienne tandis que l'autre, nommé stéréopsie grossière, réfère à la perception de la distance entre deux stimuli.

Ces deux mécanismes ont fait l'objet d'études électrophysiologiques et comportementales tant chez l'homme que chez l'animal. La plupart de ces études se sont concentrées sur la spécification des voies cérébrales responsables de la fusion binoculaire, à savoir le chiasma optique et le corps calleux. Bien que l'importance de ces deux structures ne fasse plus aucun doute, l'on constate, d'une part, que l'emphase est mise surtout sur l'implication du corps calleux alors que le rôle du chiasma optique suscite moins de curiosité. En effet, il est maintenant établi que le corps calleux est impliqué dans la binocularité (Berlucchi, 1972; Berlucchi et Rizzolatti, 1968; Blakemore, 1969; Hubel et Wiesel 1962, 1967, 1968; Payne et al., 1980). En fait, le sujet commissurotomisé obtient une faible performance, lorsqu'un haploscope

est utilisé, dans une tâche de stéréopsie grossière (Mitchell et Blakemore, 1970).

De même, la perception binoculaire de la distance entre les objets est perturbée chez les sujets ayant subi une section du corps calleux (Lassonde et al., 1982). Cependant, si l'implication du corps calleux apparaît beaucoup plus importante au niveau de la stéréopsie grossière, par contre, la section du chiasma optique, effectuée chez le chat, semble diminuer grandement les capacités à discriminer la stéréopsie fine. D'autre part, l'implication du chiasma optique, assumant à lui seul 65% des axones ganglionnaires de l'oeil controlatéral, lui confère une fonction prioritaire dans la binocularité. La plupart des travaux électrophysiologiques ont permis de vérifier que la fonction binoculaire est assumée en grande partie par cette structure anatomique. Ainsi, la section du chiasma optique effectuée chez le chat semble diminuer grandement ces mêmes capacités (Leporé et al., 1986; Ptito et al., 1982; 1986).

Bien qu'il soit permis de croire, à partir de ces travaux, que le chiasma optique est fortement impliqué chez l'homme dans la stéréopsie fine, cette démonstration n'a jamais été faite de façon concluante.

La présente recherche s'inscrit donc dans le cadre de travaux

expérimentaux cherchant à expliquer les mécanismes physiologiques à la base de la perception de la profondeur, à savoir l'effet de la section du chiasma optique sur ces deux types de perception binoculaire de la profondeur que sont la stéréopsie fine et la stéréopsie grossière.

Chapitre Premier
Contexte théorique et expérimental

Le contact entre l'homme et son environnement s'effectue grâce à des récepteurs sensibles à l'énergie et particulièrement sensibles à certaines formes d'énergie. La réception, la transformation et le codage de l'énergie constituent la première phase de l'acte perceptif. Parmi les organes sensoriels, le système visuel est essentiellement une structure qui transmet la lumière aux points récepteurs, la transforme en impulsions nerveuses puis assure sa conduction jusqu'aux niveaux supérieurs du système nerveux central.

Organisation sommaire du système visuel

La trajectoire visuelle, depuis la cornée jusqu'à l'écorce occipitale, devient importante si l'on veut bien comprendre la dimension tridimensionnelle. Echelonnées sur cette trajectoire, se retrouvent les principales structures traversée par l'information visuelle (Figure 1).

Tout d'abord la cornée, membrane fibreuse, avasculaire, transparente et qui constitue la lentille principale du système optique oculaire (Saraux, Biais, 1983). Vient ensuite le cristallin qui est aussi une lentille, biconvexe, située entre l'humeur aqueuse qui le nourrit et

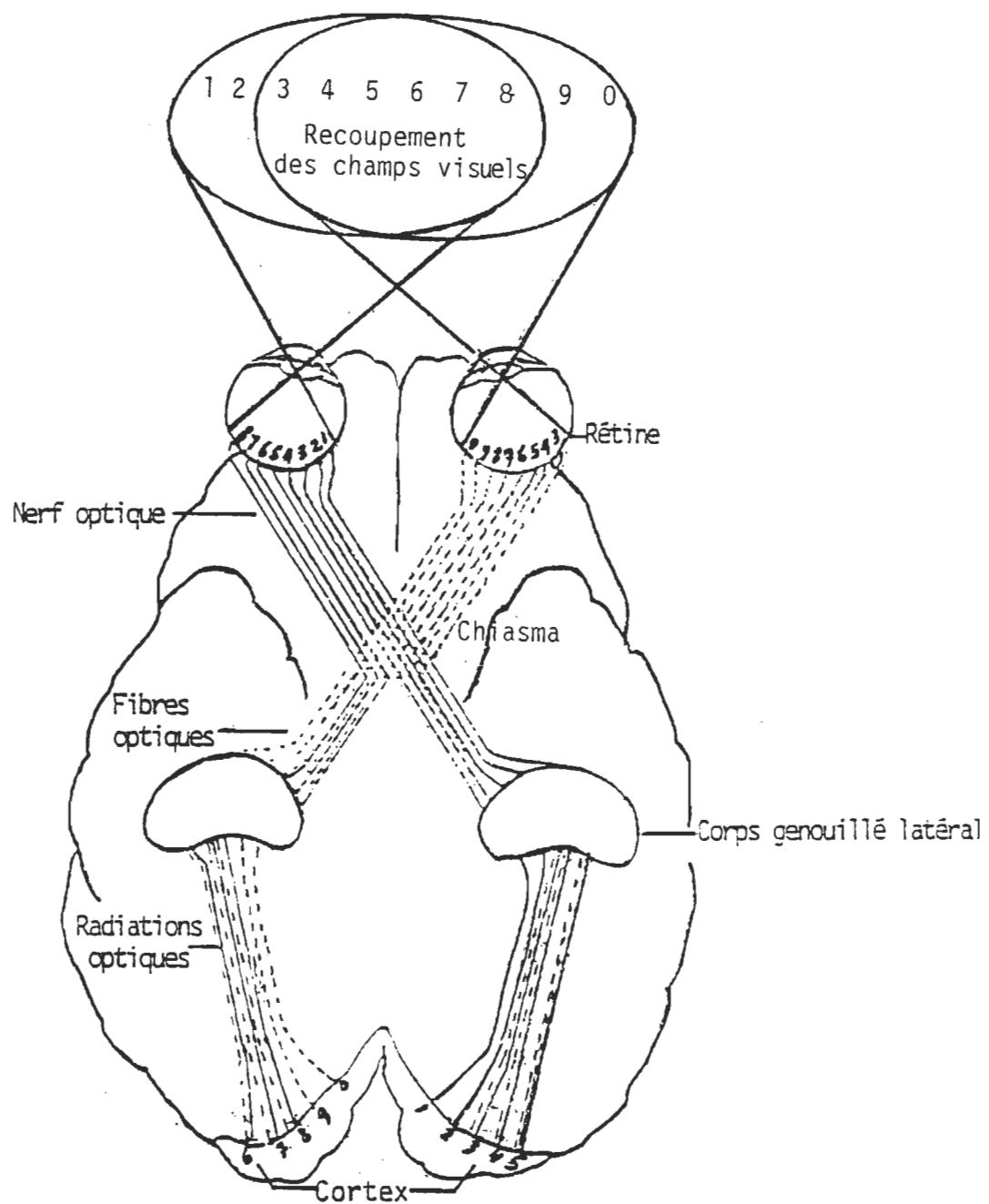


Figure 1 - Diagramme des voies optiques

l'humeur vitrée; il complète l'appareil dioptrique de l'oeil et sa puissance variable (jusqu'à 60 dioptries au repos) permet la mise au point sur la rétine, c'est l'accommodation, pour la vision de près ou de loin. L'accommodation est la propriété que possède le cristallin de modifier sa puissance afin que l'image rétinienne reste nette lorsque l'objet se déplace sur le parcours accommodatif qui va de 15 cm, point le plus rapproché qui peut être vu net, à une distance de 5 m, à partir de laquelle l'accommodation ne joue plus. C'est la mise au point de l'appareil photographique, auquel l'oeil est si souvent grossièrement comparé. Quand la distance de l'objet varie, la mise au point se fait automatiquement, non par déplacement de l'objectif (lentille cristallienne) mais bien par le changement de courbure et une modification de sa puissance. L'accommodation, ce réflexe acquis, en plus de permettre la mise au point sur la rétine, est aussi responsable de la convergence des rayons lumineux sur les deux fovéas rétinien.

La rétine, membrane interne de l'oeil, est composée de trois couches. La première comprend 127 millions de bâtonnets (vision crépusculaire du noir et du blanc) et six millions de cônes (vision diurne, avec sensibilité chromatique) répartis de façon très inégale. La fovéa, point extrêmement sensible, se retrouve à l'intérieur d'une petite aire rétinienne, la macula lutea, porteuse de la direction tout droit et autour de laquelle la rétine s'organise. La deuxième couche de la chaîne visuelle comprend les neurones bipolaires

et les cellules horizontales (cellules d'association) qui, contrairement aux bipolaires, s'hyperpolarisent toutes et dont le rôle, en cas d'illumination trop intense, consiste à bloquer la transmission entre certains cônes et les bipolaires correspondants de façon à éviter l'éblouissement (Saraux, Biais, 1983). Finalement, les neurones ganglionnaires, traversés par des connexions horizontales appelées cellules amacrines, constituent la dernière couche rétinienne. A l'intérieur de ces diverses couches, les cellules de Müller, qui sont aux cellules visuelles ce que la névroglycine est aux neurones cérébraux, traversent la rétine de part en part et jouent un rôle métabolique. De plus, la rétine des vertébrés est à l'envers (origine embryologique bulbo-médullaire), c'est-à-dire que la lumière doit la traverser en entier avant d'atteindre l'épithélium sensoriel (photo-récepteurs). L'image rétinienne n'est pas développée, elle est plutôt immédiatement transformée en une série d'impulsions nerveuses qui sont transmises via le nerf optique.

Tous les axones des neurones ganglionnaires de la troisième couche de la rétine convergent vers la papille, point aveugle et de rassemblement, afin de former le nerf optique. Topographiquement (Figure 2); les fibres nerveuses, groupées de façon précise et selon leur origine rétinienne, forment dans le nerf optique dix faisceaux, supérieurs et inférieurs, appelés: nasaux, temporaux, maculaires nasaux, maculaires temporaux et demi-lune. Après s'être introduits dans le crâne, par les

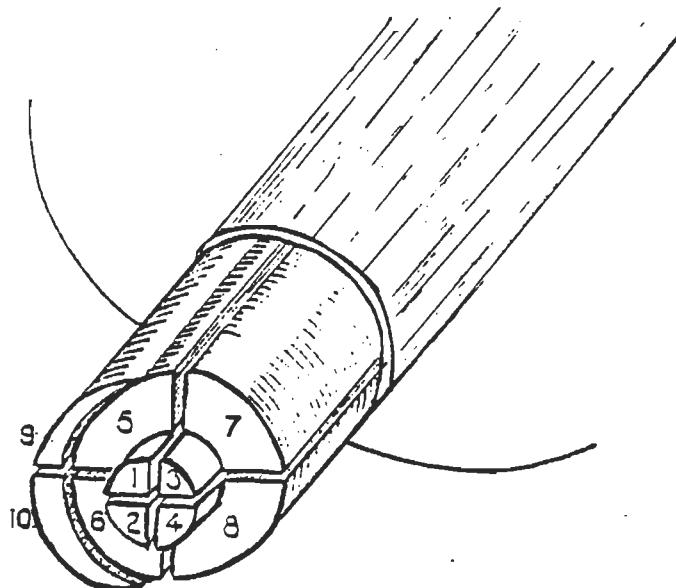


Figure 2 - Les 10 faisceaux du nerf optique

- 1, 2, 3, 4: faisceaux maculaires nasaux et temporaux
- 5 et 6 : courants nasaux
- 7 et 8 : courants temporaux
- 9 et 10 : courants de la demi-lune

canaux optiques, les nerfs optiques se rejoignent, se croisent et subissent une décussation partielle dans une commissure particulière, le chiasma optique (ainsi nommé à cause de sa ressemblance avec la lettre chi (χ)).

Anatomiquement, le chiasma optique est une lame quadrilatère, allongée dans le sens transversal mais située dans un plan oblique et formant avec l'horizontale un angle de 15 à 35°. Dans cette position particulière, le bord postérieur croise la tige hypophysaire puis se colle à la face inférieure du 11^{le} ventricule dans lequel il fait

saillie. Il contracte, en outre, des rapports étroits avec des vaisseaux importants comme la carotide interne qui longe l'angle latéral alors que la cérébrale antérieure passe tout près de l'angle antérieur.

Le fait essentiel du chiasma est l'entrecroisement. Chez les animaux inférieurs, la décussation est totale; chez le singe, par contre, le contingent de fibres directes est de l'ordre de 40%, chez le chat de 35%, tandis que chez l'homme, 30% des fibres environ sont homolatérales. Donc au niveau du chiasma optique, les fibres temporales (inférieures et supérieures) provenant des deux hémirétines temporales gagnent directement la bandelette homologue en suivant le bord latéral du chiasma, elles constituent le contingent de fibres directes ou ipsilatérales. Quant aux fibres maculaires temporales, elles suivent fidèlement le faisceau temporal direct. Au contraire, les fibres nasales supérieures, issues des deux hémirétines nasales supérieures, se dirigent d'abord vers la bandelette optique homolatérale, où elles constituent le genou postérieur, puis regagnent le bord interne de la bandelette opposée en traversant la ligne médiane. Quant aux fibres nasales inférieures, originaires des deux hémirétines nasales inférieures, elles se dirigent d'abord vers le nerf optique de l'autre côté, formant ainsi le genou antérieur, avant de poursuivre le long de la bandelette controlatérale. Enfin, les fibres maculaires nasales se comportent comme les fibres nasales gauches qui s'entrecroisent avec leurs homologues droites et constituent le contingent croisé et

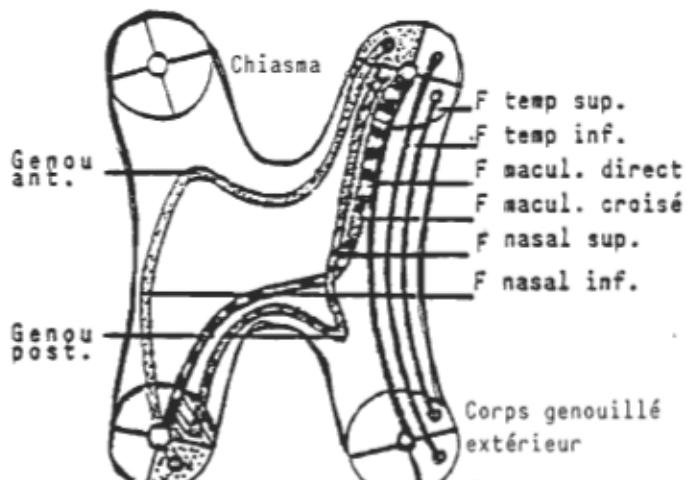


Figure 3a - Systématisation des fibres au niveau du chiasma

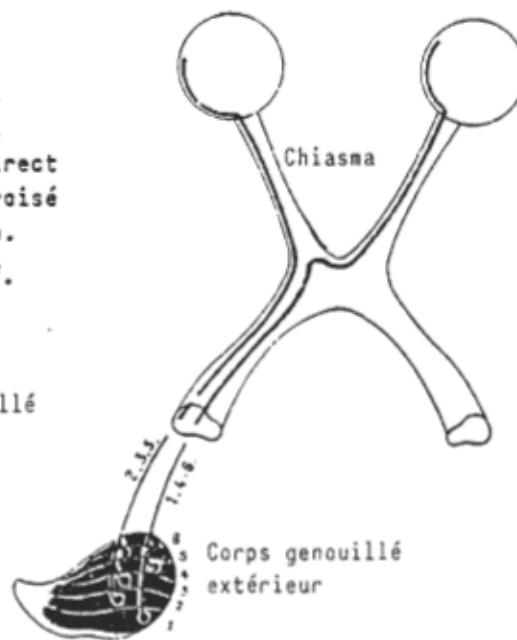


Figure 3b - Systématisation des couches homologues dans le corps genouillé externe

controlatéral (Figure 3a) .

Chaque bandelette optique reçoit des fibres provenant de la moitié homonyme de chaque rétine qui illustre la moitié opposée du champ visuel. Par exemple, dans la bandelette optique gauche se retrouvent toutes les fibres provenant des deux hémirétines gauches excitées par le champ visuel droit.

Toutes les fibres (environ un million) provenant de chaque bandelette optique vont faire relais dans les corps genouillés externes (relais thalamique du diencéphale) à l'exception de celles à destinée

extragéniculée soit vers les tubercules quadrijumeaux supérieurs. Le corps genouillé externe assure en effet plus qu'une transmission de l'information mais un premier filtrage qui, par le jeu de l'inhibition, ne laisse passer que ce qui est utilisable pour l'information visuelle. Il reçoit dans les six couches cellulaires qui le composent (Figure 3b) les fibres de projections chiasmatiques controlatérales (couches 1, 4 et 6) et ipsilatérales (couches 2, 3 et 5). Chaque point de la rétine a sa correspondance sur le corps genouillé externe. C'est dire qu'une destruction limitée de la rétine entraîne la dégénérescence d'une zone correspondante du corps genouillé. Les quadrants nasaux de la rétine se projettent dans la partie ventro-latérale du corps genouillé externe, les quadrants temporaux dans la partie dorso-médiale et les fibres maculaires dans la partie centrale. En aval de cette structure, les radiations optiques se forment, traversent la capsule interne puis cheminent dans la partie inférieure des lobes pariétaux.

Enfin, toutes ces fibres aboutissent au cortex des lobes occipitaux et se répartissent sur les deux berges de la scissure calcarine. A ce niveau cortical, il y a un véritable décalque de la rétine puisque les fibres supérieures des radiations qui correspondent à la moitié supérieure de la rétine (qui elle regarde la moitié inférieure de l'espace) se terminent sur la lèvre supérieure de la scissure. Les fibres inférieures se terminent sur la lèvre inférieure, tandis que la région rétinienne centrale ou maculaire (un centième de l'ensemble des

cônes) occupe la partie antérieure c'est-à-dire presque la moitié de l'aire calcarine. Les représentations corticales de la macula occupent une place privilégiée par rapport aux autres représentations rétiniennes; or la rétine maculaire est précisément la région de la vision maximale où l'innervation est la plus riche. Cela confirme une fois de plus que les surfaces sensorielles ne sont pas représentées dans le cerveau en proportion de leurs dimensions mais de leurs possibilités fonctionnelles. L'architecture cellulaire particulière de cette région occipitale l'a fait diviser en trois aires distinctes: striées (17), parastriées (18) et péristriées (19).

Le but ultime de cette description est, bien entendu, de comprendre comment le matériel biologique, composé de neurones et de leurs connexions synaptiques, est organisé pour permettre la vision binoculaire. Mais, le système visuel fait plus que transmettre les signaux au cerveau, il joue un rôle actif dans l'organisation et l'interprétation de ces signaux.

Vision binoculaire

La vision binoculaire dépasse le stade de la simple sensation pour réaliser une véritable perception; contrairement à la sensation, la perception est structurée. En effet, elle permet de fusionner en une

perception unique les images recueillies par chacune des deux rétines. C'est une fonction supérieure qui n'existe que chez les primates (Saraux, Biais, 1983). Dans le champ visuel binoculaire, à une distance déterminée par le point de fixation, toutes les parties d'une image vont atteindre des points correspondants des deux rétines; c'est l'horoptère. La vision simple d'un objet avec les deux yeux réalise l'haplopie (région de l'horoptère) qui s'oppose à la diplopie ou vision double (au-deçà ou au-delà de l'horoptère). Un champ visuel commun et un mécanisme de fusion sensorielle sont donc les principaux fondements indispensables à la vision binoculaire.

Le champ visuel commun (120°) occupe la région centrale, à savoir, 60° de chaque côté du point de fixation, 70° en haut, 90° vers le bas. Ainsi, tandis que les deux hémirétines nasales reçoivent toute la partie homonyme du champ visuel qui est entamée latéralement par le croissant temporal (vision monoculaire), les deux hémirétines temporales ne reçoivent que les parties médianes du champ hétéronyme, qui se superposent, se confondent en une seule et donnent la vision binoculaire. En d'autres mots, dans la vision binoculaire, chaque champ visuel gauche ou droit est projeté sur des portions de chaque rétine. Par exemple, tout le champ droit est projeté à la fois sur la moitié nasale droite et la moitié temporale gauche de la rétine. Réuni par l'intermédiaire du chiasma, cet arrangement de fibres rétiniennes permet la perception du champ droit par l'hémisphère gauche. Ce qui

fait en sorte que le cortex visuel de chaque hémisphère traite l'information de l'hémichamp controlatéral (Burrows et Hayhow, 1971; Wilson et Cragg, 1967).

Quant au mécanisme de fusion sensorielle, il faut se rappeler que la vision simple n'est possible que si il y a correspondance entre les deux rétines, chacune étant en quelque sorte le décalque de l'autre. C'est Mueller (1826) qui le premier a attaché son nom à cette théorie de la correspondance point par point entre les deux rétines, lesquelles peuvent être comparées à un ensemble formant un grand nombre de points, chacun ayant son équivalent dans l'autre. Cependant, il existe aussi une région plutôt limitée en avant et en arrière de l'horoptère (aires de Panum) à l'intérieur de laquelle la présentation d'un stimulus va provoquer aussi la perception d'une image simple et ce, même si l'image stimule des points non correspondants des deux rétines. (Bishop, 1971). Panum (1858) a établi empiriquement que l'excitation d'un point rétinien précis provoque sur l'autre rétine plusieurs points dont l'excitation simultanée donne la vision simple. Lorsque les deux images d'un objet tombent sur une paire de points correspondants (excitation synchrone), il est vu simple. Donc, les éléments rétiniens qui ont une même valeur spatiale ont aussi une direction visuelle commune (Bishop, 1973). Les maculae, par exemple, sont les points correspondants par excellence.

Il n'est pas suffisant que deux images soient projetées en une

même région du cerveau pour que se réalise la fusion en une image unique, il faut surtout que ces deux images soient acceptées comme identiques ou voisines. L'une des raisons pour lesquelles le cerveau interprète les images visuelles est que de nombreuses configurations de la réalité produisent la même image rétinienne (Hoffman, 1984). En d'autres termes, l'ambigüité inhérente à toute image rétinienne oblige le cerveau à faire une interprétation. Si deux images sont présentées sur des points correspondants de la rétine, deux situations importantes peuvent se produire: elles sont identiques ou différentes. Si les images sont totalement différentes, elles ne sont pas fusionnées mais plutôt projetées les unes sur les autres, c'est ce qui se produit, par exemple, lorsque l'image d'un cercle et celle d'un triangle sont projetées l'une sur l'autre; les deux figures apparaissent surimposées et de façon parfaitement nette. Par contre, les images identiques sont fusionnées, malgré une légère différence entre elles, si la forme globale reste commune. Mais la fusion devient de plus en plus difficile au fur et à mesure qu'augmente la disparité. Seul un très léger décalage entre les images est nécessaire pour qu'apparaisse la sensation du relief.

Travaux psycho-physiques

Cependant, le cerveau peut également interpréter la distance ou la profondeur à partir d'indices acheminés par un seul oeil. En effet, une variété d'indices monoculaires sont à même, de par leurs qualités intrinsèques, et non en raison de l'effet stéréoscopique, de

rendre perceptible la profondeur. Parmi ces indices, on retrouve: le recouvrement, le gradient de luminosité, la parallaxe de mouvement, l'accommodation et la taille relative de l'objet.

Ainsi, lorsque l'un ou plusieurs de ces indices sont perçus par un seul oeil à la fois, la vision tridimensionnelle n'est pas anéantie pour autant. Toutefois, les indices de profondeur les plus importants sont ceux fournis par les deux yeux, c'est-à-dire la disparité rétinienne et la convergence binoculaire, l'indice le plus important étant cependant celui de la disparité rétinienne.

La convergence binoculaire

Lors de la vision de loin (au-delà de 15 m), la courbure de la surface du cristallin est plus marquée, la pupille est largement ouverte tandis que les deux axes visuels sont parallèles, donc sans angle de convergence ou presque. Mais au fur et à mesure que l'objet, qui a été fixé par les deux yeux à une distance relativement grande, se rapproche, la paire de muscles droits internes ou médiaux opèrent une adduction des globes oculaires de plus en plus forte de sorte que les axes visuels, initialement parallèles, commencent à converger. Ainsi, l'objet fixé, qui se situe au point d'intersection des axes visuels, et formant un angle qui informe le système visuel de la distance de l'objet, se projette sur les deux macula et met en évidence le phénomène de la convergence. Une modification de l'angle de convergence au moyen de

prismes résulte en des erreurs de jugement de la distance (Gregory, 1972).

La disparité rétinienne

C'est l'élément essentiel à l'appréciation du relief. Les deux images rétinienennes d'un objet tridimensionnel ne sont pas superposables. Etant donné la distance de 62 mm qui sépare les deux yeux l'un de l'autre (Joshua et Bishop, 1970), ceux-ci convergent légèrement de sorte que leurs axes optiques se coupent en un point du monde extérieur, c'est le point de fixation qui se projette au centre de la rétine. Un point voisin dans l'espace du point fixé projettera aussi sur la rétine mais à une certaine distance de son centre. Cependant, cette distance n'étant pas la même pour les deux yeux, la différence entre les deux distances (disparité) varie en fonction de la profondeur du point dans le champ visuel par rapport au point de fixation (focalisation). Donc, l'objet étant vu avec une perspective différente pour chaque œil, les images qui se forment sur chaque rétine sont légèrement différentes et engendrent un phénomène connu sous le nom de disparité rétinienne ou binoculaire (Figure 4). L'appréciation de la profondeur au moyen de la disparité est appelée stéréopsie. Cette différence de perspective peut se matérialiser en prenant successivement deux photographies d'un même objet avec un appareil dont l'objectif se déplace 6 cm sur le plan frontal. La disparité tolérable entre les deux images est minime dans le sens vertical mais plus importante dans le sens horizontal (Ogle,

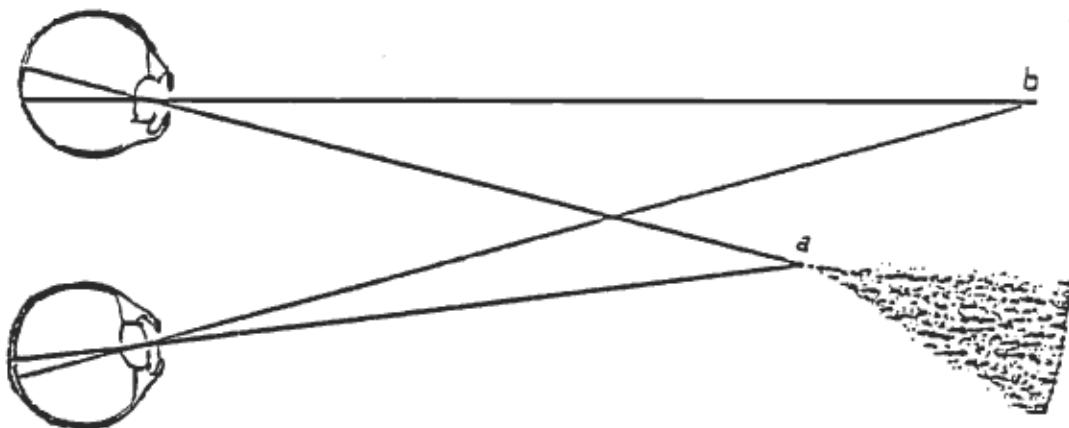


Figure 4 - C'est la disparité binoculaire qui permet la vision stéréoscopique. Elle est due au fait que les yeux convergent légèrement, de sorte que leurs axes optiques se coupent en un point du monde extérieur (a). On dit que ce point est "fixé". Un point voisin dans l'espace (b) se projettera donc sur la rétine à une certaine distance de son centre. Cette distance ne sera pas la même pour les deux yeux. (Modifié de Poggio, 1984).

1955). Si les images sont trop disparates ou tout à fait identiques, la perception de la profondeur devient impossible. L'acuité stéréoscopique varie avec l'âge (meilleure chez l'enfant et l'adolescent), l'éclairage (s'élève avec le seuil photopique) et le temps d'exposition.

Les travaux de Wheatstone (1838) ont d'ailleurs clairement démontré que la différence entre les images rétinianes de l'oeil droit et de l'oeil gauche était l'un des principaux facteurs de la perception de la profondeur. Avec l'invention du premier stéréoscope, Wheatstone imposa la disparité rétinienne comme étant l'indice binoculaire essentiel sur lequel repose la perception binoculaire de la profondeur et cela de façon non équivoque. L'induction d'une disparité binoculaire

dans une figure bidimensionnelle produit une impression très nette de relief. A la suite des travaux de Wheatstone (1838), d'autres formes de stéréoscopes ont été mises au point. Parmi celles-ci, la découverte récente des stéréogrammes de Julesz (1964) est sûrement digne de mention.

Les stéréogrammes faits de points aléatoires et réalisés par Julesz (1964), constituent un moyen privilégié qui a fait progresser considérablement notre compréhension des mécanismes stéréoscopiques. Monoculairement sans signification, ils offrent au système visuel la disparité binoculaire comme unique source d'informations. C'est l'étude de la stéréopsie à l'état pur par des mécanismes cérébraux extrêmement raffinés, efficaces et capables de se réaliser sans la présence d'indices monoculars ou que la familiarité de la forme y participe. Ils sont constitués de deux matrices générées à l'aide de l'ordinateur et dans lesquelles des points sont distribués de façon aléatoire. L'extraction de l'information s'établit à partir de chaque matrice ou de chaque configuration de points au hasard et identiques sauf en leur partie centrale dont une portion est légèrement décalée. Le vide ainsi créé par le décalage est comblé par d'autres points au hasard. Sans lunettes stéréoscopiques, les portions décalées sont tout à fait identiques à l'ensemble. Mais avec ces lunettes (qui jouent le rôle d'un stéréoscope), les configurations sont fusionnées et le décalage d'une figure centrale émerge d'un arrière plan et sera vu en-deçà ou au-delà de la surface (Figure 5).

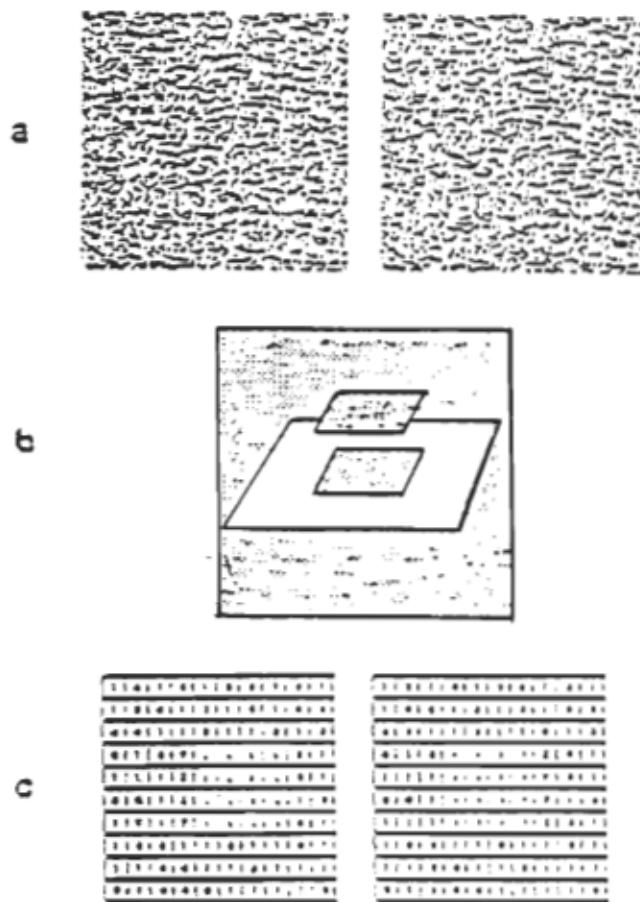


Figure 5 - a) Paire de stéréogrammes de points aléatoires. b) La fusion binoculaire des figures présentées en a) génère la perception d'un carré central flottant devant l'arrière plan. c) Façon de produire la disparité horizontale nécessaire à la stéréoscopie dans les stéréogrammes. (Tiré de Samson, 1985).

Le paillage non seulement des points deux à deux, mais de tous les points ayant une même disparité (Julesz, 1971) et contenus dans les stéréogrammes constitue en soi, une forme de stéréopsie appelée

stéréopsie globale. En effet, la combinaison par le cerveau des deux matrices faites, par exemple, de 100 X 100 points aléatoires (10 000 points) pose un problème d'ambiguité énorme car le nombre de païrages met en évidence la nécessité d'une solution globale à ce problème perceptif. Par contre, le mécanisme capable d'extraire la profondeur à partir du païrage de points simples pouvant être fusionnés deux à deux a été qualifié de stéréopsie locale par Julesz (1967). Ce type de stéréopsie rejoint assez bien un autre concept exposé, à savoir la stéréopsie "fine", telle que décrite par Bishop et Henry (1971) et qui s'appuie elle aussi sur une grande similarité des images disparates pour produire généralement la fusion. Cependant, des stimuli offrant d'autres dimensions et d'autres disparités à fusionner feront en sorte que la stéréopsie locale peut être également grossière (Julesz, 1978). Il semble que la grande sensibilité à la disparité horizontale de certaines cellules du cortex visuel soit à l'origine de ce type de stéréopsie.

Si l'on prend en considération les indices de la disparité dans l'observation d'un point de fixation, la stéréopsie locale, comme l'ont proposée Bishop et Henry (1971), peut être divisée en deux niveaux, à savoir la stéréopsie fine et grossière. En effet, la stéréopsie fine, comme son nom l'indique, est associée à de hauts niveaux de stéréoacuité et s'appuie sur de très faibles disparités rétiniennes (inférieures à 0.5^0) pour se permettre un jugement très net de la profondeur relative. Les stimuli capables de provoquer ce type de vision stéréoscopique doivent être similaires pour les deux yeux, à

savoir, même forme, même luminance. A l'inverse, la stéréopsie grossière semble indifférente aux propriétés différentes des stimuli présents dans chaque œil. Elle englobe pour sa part des disparités beaucoup trop grandes (de 0.5° à $7-10^{\circ}$) pour qu'il existe une perception du relief.

En résumé la vision stéréoscopique est une tâche de décodage du monde tridimensionnel à partir des différences de positions des images rétinienennes, d'une simplicité trompeuse en ce sens que le cerveau, contrairement au calcul mental, par exemple, la réalise sans effort. Pourtant notre habileté stéréoscopique repose sur quatre étapes fondamentales à franchir: a) le cerveau sélectionne un site dans l'espace à partir d'une image rétinienne; b) le même site doit être identifié sur l'autre image rétinienne; c) leurs positions doivent être mesurées afin de vérifier la disparité entre les deux mesures; d) puis le cerveau doit calculer la profondeur du site (Poggio, 1984).

Structures anatomiques impliquées dans la binocularité

Cellules binoculaires

Cette capacité du système visuel à intégrer l'information venant des deux yeux laisse supposer qu'au niveau cortical, il existe des cellules sur lesquelles convergent les influx en provenance de chaque rétine et qui sont capables d'intégrer les disparités rétinienennes produites par la parallaxe binoculaire. Les cellules binoculaires du

cortex visuel sensibles à divers degrés de disparités horizontales constituent la structure anatomique la plus susceptible de jouer ce rôle primordial. En effet, la découverte fondamentale de cellules corticales binoculaires, répondant à l'input des deux yeux à la fois (Bishop, 1971), vient confirmer l'existence d'une fusion binoculaire. Il semble que dans cette synthèse corticale, interviennent des cellules apportant des renseignements sur la concordance ou la disparité rétinienne entre les deux yeux (Bishop, 1971).

Chez le chat, dans le cortex visuel primaire (aire 17), des cellules sensibles à des excitations venant de différents points rétiniens, sous-tendant des disparités variées, sont mises à jour par Barlow, Blakemore et Pettigrew, (1967). Chez le singe, les cellules de l'aire 17 offrent des réponses binoculaires seulement si les stimuli tombent sur des endroits correspondants des deux rétines alors que les neurones de l'aire 18 du chat (Joshua et Bishop, 1970) et du singe (Hubel et Wiesel, 1970) ne sont stimulés que par les stimuli légèrement disparates. Les cellules binoculaires situées dans le cortex visuel sont donc hautement spécialisées et capables de discriminer de petites disparités horizontales croisées et non croisées (Nikara et al., 1968; Pettigrew et al., 1968) et de larges disparités (Barlow et al., 1967; Blakemore, 1969; Poggio, 1984). Il serait bon de noter ici, l'étude de Leporé et al. (1985), dans laquelle des cellules de l'aire 17 du chat, sensibles à la disparité rétinienne, ont été mises en évidence. En

fait, les quatre classes de cellules décrites par Poggio (1984) chez le singe ont été retrouvées chez le chat. Les cellules binoculaires reçoivent l'information de chaque œil à travers deux sources principales, à savoir: 1^o le chiasma optique et 2^o le corps calleux.

Chiasma optique

Déjà largement décrit dans la partie anatomie, le chiasma optique est le point de rencontre des deux nerfs optiques. D'un côté, les fibres ganglionnaires des hémirétines nasales forment le croisement chiasmatique (projection controlatérale) tandis que les autres fibres ganglionnaires des hémirétines temporales restent homolatérales et constituent le contingent ipsilatéral (Berlucchi et al., 1968; Hubel et Wiesel, 1967; Sprague et al. (1973). Cette décussation partielle des axones ganglionnaires va permettre à chaque hémisphère cortical controlatéral de bénéficier des informations provenant des deux yeux.

Le corps calleux

La plus importante des commissures cérébrales, le corps calleux, est une large et épaisse substance blanche, de forme arquée qui se situe au fond de la scissure interhémisphérique. Par l'intermédiaire du splénium, partie postérieure morphologiquement différente, le corps calleux permet surtout le transfert d'un apprentissage visuel (Berlucchi, 1972; Doty et Negrao, 1973; Myers, 1962), assure la continuité entre les deux hémichamps (Gazzaniga et al., 1965) puis réalise la

perception de la profondeur dans l'axe frontal. Cette restriction de la stéréopsie au seul axe frontal est due au fait que les axones calleux originant des aires corticales visuelles (17, 18 et 19) sont essentiellement limités aux sites de représentation de la ligne médiane reliant les deux hémichamps (méridian vertical).

Il existerait donc deux types de cellules binoculaires. Certaines d'entre elles en recevant un influx de l'hémirétine nasale controlatérale, auraient de ce fait une binocularité d'origine chiasmatique. D'autres cellules binoculaires, activées celles-là par la stimulation des deux hémirétines temporales et projetant dans des hémisphères reliés par le splénium, réussissent une binocularité de type calleux.

La section du chiasma optique ou du corps calleux, limitant les projections rétiniennes à l'hémisphère ipsilatéral dans le premier cas puis à l'isolement des cortex visuels dans le second, permet d'évaluer la contribution de l'un et de l'autre dans l'intégration binoculaire. En effet, Berlucchi et Rizzolatti (1968) ont enregistré l'activité unicellulaire au niveau de l'aire 17 chez le chat dont le chiasma optique a été préalablement sectionné. Ils ont pu observer les résultats suivants: quelques cellules (8%) pouvant encore être activées par les deux yeux, les champs récepteurs de ces cellules binoculaires sont tous localisés à proximité du méridian vertical; de plus ces unités

sont localisées à la limite des aires 17 et 18, ce qui correspond au site de projection des fibres calleuses. Guillemot (1979) rapporte 36% de cellules binoculaires avec la même préparation chirurgicale. Donc, la lésion du chiasma optique entraîne une baisse très importante du nombre de cellules binoculaires au niveau du cortex strié (aire 17) du chat. Ces résultats et d'autres (Leporé et al., 1985) suggèrent l'hypothèse que des cellules sensibles à la disparité sont encore présentes dans le cortex même après une section du chiasma et que le corps calleux peut contribuer dans une certaine mesure à la réalisation de la binocularité dans le champ visuel central du cortex strié (Berlucchi et al., 1967; Hubel et Wiesel, 1967; Leporé et Guillemot, 1982). Si tel est le cas, il est probable qu'une section calleuse entraîne une certaine baisse de cellules binoculaires dont les champs récepteurs se situent de part et d'autre du méridien vertical.

De toute façon, la contribution du corps calleux à la binocularité fait encore l'objet de nombreuses controverses, certains auteurs reliant la callosotomie à une perte importante de cellules binoculaires (Payne et al., 1980) tandis que d'autres n'y voient aucun changement significatif (Leporé et al., 1983; Minciachchi et Antonini, 1984). Mais indépendamment du litige impliquant le rôle du corps calleux dans la binocularité, un fait demeure: une section, à la fois calleuse et chiasmatique, amène la disparition des cellules binoculaires alors que des lésions séparées aboutissent à des résultats moins

importants (Antonini et al., 1983).

Puisque l'absence de cellules binoculaires engendre généralement une stéréo-cécité (Packwood et Gordon, 1975), il est raisonnable d'imaginer que l'interception de la voie calleuse ou celle de la voie chiasmatique pourrait nuire à la stéréopsie.

Effets comportementaux des lésions calleuses et chiasmatiques dans la binocularité

Bien qu'il existe davantage de travaux faits sur le corps calleux, en comparaison du chiasma optique, deux recherches fondamentales en stéréopsie se sont préoccupées de l'une et de l'autre structure.

Tout d'abord, la contribution relative du corps calleux et du chiasma à la stéréopsie, dans l'axe médian, a été mise en évidence par Mitchell et Blakemore (1970) et par Blakemore (1970). Ce dernier a mesuré la capacité stéréoscopique d'un jeune garçon privé de son chiasma optique à la suite d'un accident. Avec cette section sagittale et médiane, le sujet doit juger la distance relative produite par les stimuli (fines raies verticales) dont la disparité convergente ou divergente varie de 0.5° à 7.0° . Pour toutes situations impliquant des disparités divergentes (non croisées), c'est-à-dire avec présentation de

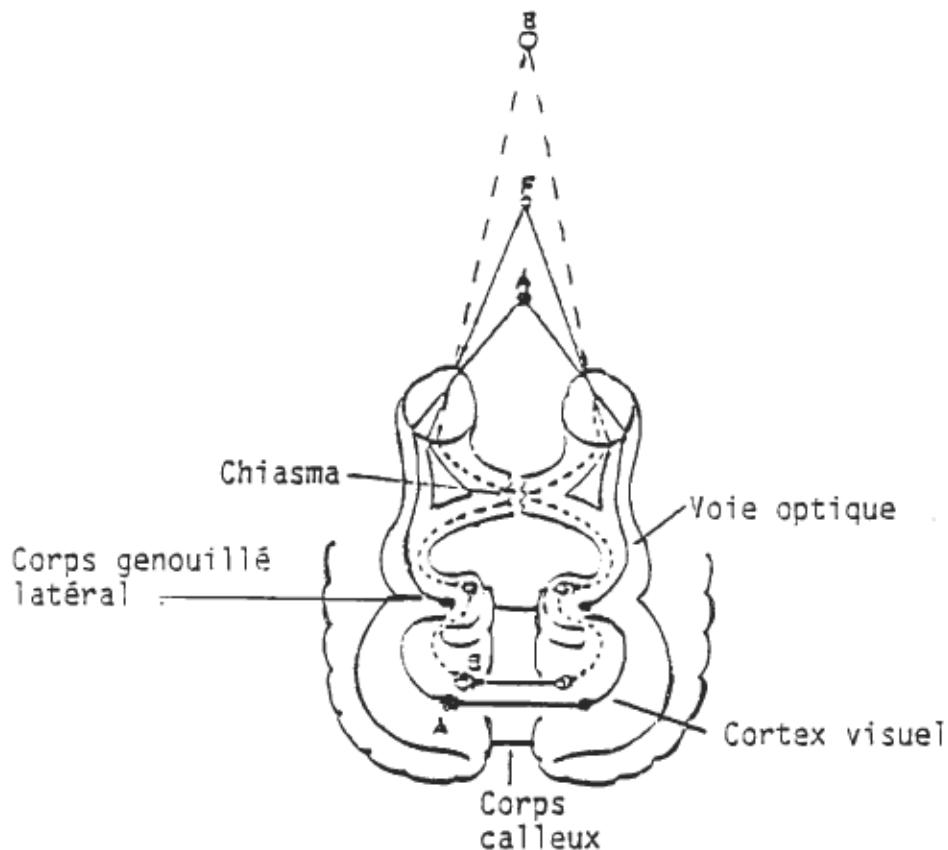


Figure 6 - Contribution possible du corps calleux dans la perception stéréoscopique d'un objet (A) présenté devant le point de fixation (F) chez un sujet humain chiasmatomisé car les hémirétines temporales sont intactes. La stéréoscopie derrière (B) le point de fixation est impossible car les hémirétines nasales sont aveugles suite à la section sagittale médiane du chiasma optique.
(Modifié de Blakemore, 1970).

stimuli derrière le point de fixation, le jugement de la profondeur s'avère impossible. Cela est attribuable essentiellement au fait que les hémirétines nasales sont aveugles suite à une rupture chiasmatique (Figure 6).

Toutefois, le jeune garçon démontre une habileté étonnante pour toutes les situations impliquant des disparités croisées et convergentes, et dans lesquelles les stimuli sont en avant du point de fixation. Ces résultats sont comparables à ceux de Weistheimer et Tanzmann (1956) obtenus chez l'homme normal.

Comment l'information reçue dans des hémisphères différents va-t-elle s'intégrer? Ces résultats laissent peu de doute quant à l'existence d'une voie interhémisphérique permettant l'intégration des informations nécessaires à la perception de la disparité spatiale. L'hypothèse voulant que le corps calleux soit justement cette structure susceptible de permettre la vision stéréoscopique dans l'axe médian a été examinée par Mitchell et Blakemore (1970). La vision stéréoscopique d'un adolescent, ayant subi une section chirurgicale à la fois du corps calleux, des commissures hippocampienne et antérieure, est testée dans les champs central et périphérique.

Deux stimuli sont présentés dans l'hémichamp visuel droit, en avant et en arrière du point de fixation, donc dans des situations de disparités (de 2^0) croisées et non croisées. Les résultats montrent un sujet parfaitement capable de percevoir la distance relative. Par contre, sa vision stéréoscopique est tout à fait nulle si les mêmes stimuli offrant les mêmes disparités lui sont présentés dans l'axe frontal. La présentation périphérique (Figure 7a) stimule les

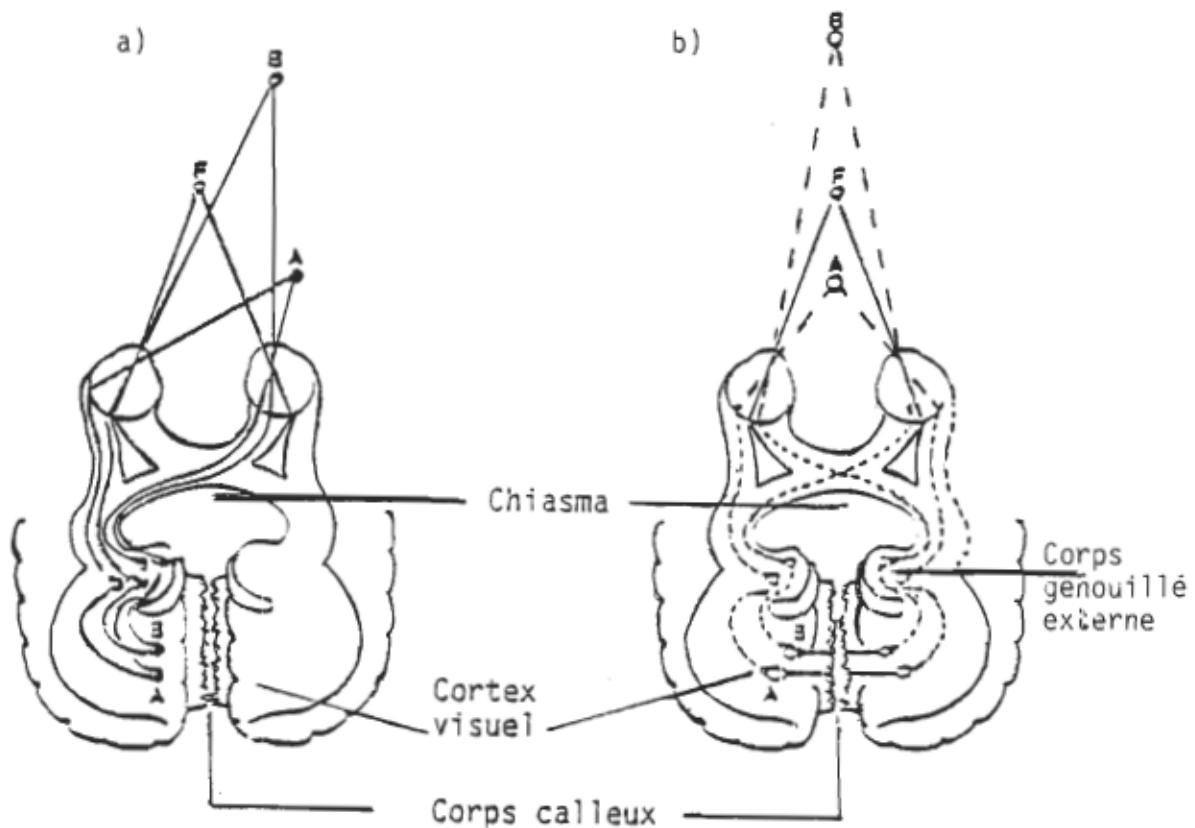


Figure 7 - (a) Organisation anatomique permettant la vision stéréoscopique normale dans l'hémichamp droit chez un sujet callosotomisé. (b) Le même sujet ne peut évaluer la profondeur relative au point de fixation (F) lorsque les stimulations (A et B) sont présentées dans l'axe frontal. Voir le texte. LGN: corps genouillé latéral. (Modifié de Mitchell et Blakemore, 1970).

hémirétines hétéronymes (nasale, temporale) qui projettent dans un seul hémisphère (gauche) où sont intégrées les images disparates provenant des deux yeux, tandis que la stimulation centrale (Figure 7b) fait en sorte que les stimuli tombent sur les hémirétines temporales et se retrouvent dans des hémisphères différents. Le corps calleux n'existant

plus, la communication interhémisphérique est éliminée et ne permet plus l'intégration des stimuli disparates et par conséquent, les cortex visuels ne disposent plus d'informations sur la disparité.

De façon analogue, il y a bon nombre d'années, Bridgeman et Smith (1945) furent les premiers à mettre en relation perception stéréoscopique (stéréopsie fine) et transsection calleuse chez treize (13) sujets pour y découvrir une stéréoacuité presque normale. Ceci est en accord avec les données cliniques rapportées plus tard par Bogen (1962). De même, Gazzaniga, (1962) a évalué, à l'aide des stéréogrammes de Julesz (stéréopsie globale), la perception de la profondeur chez des sujets au cerveau dédoublé. Il y a trouvé une stéréoperception normale.

Chez les porteurs d'agénésie calleuse, les mêmes résultats sont obtenus par Ettlinger et al., (1972) à savoir une habileté à percevoir la profondeur alors que Mitchell et Blakemore (1970), Milner et Jeeves (1977); Bishop et Henry (1981); Lassonde et al., (1982) y ont observé des déficits au niveau de la stéréopsie grossière.

C'est dire à quel point le rôle du corps calleux chez l'homme qui a fait l'objet de tant de recherches reste controversé!

Cette particularité du système visuel d'utiliser l'information présente dans la disparité binoculaire afin de percevoir le relief n'est

pas restreinte à l'homme. En effet, la stéréoscopie a été démontrée chez l'espèce animale à l'aide de stimuli conventionnels (Walk et Gibson, 1961; Fox et Blake, 1971). Plus tard, les stéréogrammes de points aléatoires ont également été utilisés pour démontrer l'existence de la stéréopsie globale, chez le chat (Lehmkuhle et al., 1977; Ptito et al., 1982), le singe (Bough, 1970; Cowey et al., 1975; Julesz et al., 1976). Ainsi, chez le chat, une expérience impliquant la section du chiasma est rapportée par Ptito et al., (1986) qui signalent une baisse importante dans la discrimination des stéréogrammes de Julesz alors que la section calleuse n'interfère pas avec la perception de ces mêmes stéréogrammes, généralement utilisés comme mesures de la stéréopsie globale.

Les études portant sur le rôle du corps calleux en binocularité et en stéréopsie sont donc beaucoup plus nombreuses que celles portant sur le rôle du chiasma optique et ce, tant chez l'homme que chez l'animal. Comment expliquer toute cette emphase mise sur le corps calleux alors qu'il est reconnu qu'une section chiasmatique amène une réduction beaucoup plus grande du nombre de cellules binoculaires tout en laissant une proportion limitée de cellules susceptibles d'être stimulées par les deux yeux (Berlucchi et Rizzolatti, (1968)?

En fait, des problèmes d'ordre méthodologique sont en grande partie responsables d'un tel état de faits. Chez l'homme comme chez

l'animal chiasmatomisés, la vision binoculaire est restreinte à une étroite bande centrale d'environ 1° située de part et d'autre du méridien vertical. Il est donc difficile d'évaluer la stéréopsie à l'intérieur de limites si étroites. De plus, les patients chiasmatomisés sont généralement atteints de strabisme et conséquemment de diplopie et éprouvent d'énormes difficultés à fusionner en une seule image un point central.

Récemment, par contre, le Laboratoire de Neuropsychologie expérimentale de Bron, en France, nous a permis d'évaluer un patient chiasmatomisé qui, en dépit de sa diplopie, arrive à obtenir une image unique dans son champ central. Plusieurs hypothèses pourront donc être évaluées auprès de ce patient.

Etant donné qu'il n'existe que deux sources de convergence binoculaire dans le cortex visuel, la première d'origine chiasmatique, fortement impliquée dans la stéréopsie; la seconde de provenance calleuse et dont la participation au phénomène binoculaire est fort limitée; étant donné que la section du chiasma optique effectuée chez le chat semble diminuer grandement les habiletés à discerner la stéréopsie globale.. Etant donné que l'implication du corps calleux au niveau de la stéréopsie grossière apparaît plus importante que celle du chiasma optique; la section du chiasma optique (limitant les afférences des deux yeux aux hémisphères ipsilatéraux) devrait entraîner une faible

performance dans une tâche de stéréopsie globale mais affecter peu la stéréopsie grossière lorsque les stimulations binoculaires sont faites dans le champ central.

Hypothèse

Nous postulons donc que chez le sujet chiasmatomisé, la stéréopsie grossière, capacité d'extraire la profondeur à partir de grandes disparités rétiniennes, est possible en vision centrale mais non la stéréopsie globale qui nécessite de très petites disparités pour conclure à un effet de profondeur.

Chapitre II

Description de l'expérience

Sujets

L'expérimentation implique la participation de six sujets adultes. Le groupe expérimental se compose d'une seule personne, tandis que les deux groupes contrôles en compte cinq. Tous les groupes ont en commun un niveau intellectuel moyen et une vision normale, pour les deux yeux (10/10), vérifiée préalablement par une épreuve d'acuité visuelle (carte Snellen). Ils sont tous soumis aux épreuves suivantes, à savoir: test anaglyptique T.N.O., tests de stéréopsie globale, de stéréopsie grossière-objets et de stéréopsie grossière-lumière.

Groupes contrôles

Le premier groupe se compose de quatre personnes, trois femmes: R.C., 32 ans; A.C., 30 ans; C.D., 22 ans et d'un homme Y.P. 21 ans. Aucune histoire de strabisme parmi ce premier groupe contrôle normal.

Le deuxième groupe contrôle est formé de R.T. âgé de 23 ans qui souffre, depuis sa plus tendre enfance, d'un micro-strabisme, non opéré, mais compensé par des verres correcteurs qui lui confèrent une acuité normale pour les deux yeux.

Les cinq sujets contrôles ont été choisis parmi les étudiants en psychologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Ils ont passé tous les tests exigés par l'expérimentation au laboratoire de neuropsychologie de cette université.

Groupe expérimental

Le sujet expérimental (M.C.) est un agriculteur de 31 ans habitant la région de Lyon en France et qui a subi une section du chiasma optique à la suite d'un accident de bicyclette. Même s'il affiche une acuité normale pour les deux yeux, M.C. est toutefois porteur, au niveau visuel, d'une hémiagnosie bitemporale et d'une diplopie consécutives à son accident. Malgré un strabisme divergent, il réussit avec de gros efforts à maintenir une convergence ainsi qu'une image simple pendant quelques minutes. Ce sujet a été testé, à deux reprises, au Laboratoire de Neuropsychologie expérimentale, Inserm, de Bron, France, par Maryse Lassonde, avec la collaboration de Marie-Thérèse Perenin.

Test d'habileté stéréoscopique

Nature des stimuli

Le test T.N.O. (test for stereoscopic vision, 1972) a été conçu par les laboratoires Lameris Instrumenten b.v. Allemagne pour l'évaluation du sens stéréoscopique. Les sept planches de cet ouvrage sont basées sur le même principe que les stéréogrammes de Julesz. Ses images stéréo (faites de points rouges et verts) ne sont visibles qu'en profondeur binoculaire; en vision monoculaire, elles disparaissent aussitôt (voir reproduction du test en appendice B).

Les trois premières planches de ce test permettent d'établir la présence ou l'absence de la vision stéréoscopique, ce sont les planches I, II et III. Les planches V, VI et VII servent d'évaluation quantitative et sont capables de déterminer l'acuité stéréoscopique sur une gamme de parallaxe binoculaire de 480 à 15 secondes d'arc. Reste la planche IV, dite test de suppression, utilisée seulement si l'absence de vision stéréoscopique a été établie à l'aide des trois premières planches du test. Ainsi, la planche IV peut être utile comme base d'un diagnostic plus complet.

Planche I

Deux papillons sont dessinés sur cette planche mais l'un est visible et l'autre caché. Celui qui est caché n'est toutefois visible

qu'en se servant des lunettes pour le regarder. Le sujet doit montrer chacun des papillons qu'il voit, l'un à gauche, en haut (visible en permanence) et l'autre, en bas à droite (visible avec les lunettes).

Planche II

Quatre disques (ballons, soucoupes) de taille différente y sont représentés. Deux sont visibles en permanence tandis que les deux autres ne le sont qu'en vision stéréoscopique. Le sujet identifie la taille des disques. En haut, à gauche, le ballon (visible en permanence) est le plus gros des disques, tandis qu'à droite, la soucoupe est le deuxième (visible avec les lunettes). En bas, à gauche, la soucoupe (visible avec les lunettes) est le deuxième plus petit après le ballon (visible en permanence) de droite qui est le plus petit de tous les disques.

Planche III

Cette planche comprend cinq figures, l'une d'entre elles, une croix, étant toujours visible. Les autres figures: un cercle, un losange, un triangle, un carré (présentées sur la page opposée) sont invisibles et se situent autour de la croix. Le sujet identifie, avec les lunettes, chaque figure. En haut, à gauche, on retrouve le carré et à droite, le triangle. En bas, à gauche, se situe le cercle et à droite, le losange.

Planche IV

Cette planche est un test de suppression dans lequel on voit au centre un petit disque accompagné de part et d'autre de deux grands disques. Si le sujet ne voit que deux disques sur trois, on lui demandera de montrer la position du plus grand. Le choix de gauche ou droit indique la prédominance visuelle.

Planche V

La Figure 5a est composée d'un cercle apparent avec une portion manquante dans la partie droite. La planche V comprend quatre carrés apparents contenant chacun un cercle non apparent. Sans lunettes, le sujet ne voit rien mais avec les lunettes, il peut voir quatre cercles disposés d'une façon différente de la Figure 5a. Les disparités rétinienennes de cette planche sont de 480 secondes d'arc pour les deux cercles du haut et de 240 pour ceux du bas.

Planche VI

Même composition graphique que la planche V. Les deux cercles du haut (disparités rétinienennes de 120 secondes d'arc) sont dans une position différente de la Figure 5a tandis que ceux du bas (disparités de 60 secondes d'arc) sont identiques à la figure 5a.

Planche VII

Même composition graphique que les planches V et VI. Aucun

cercle de ces quatre carrés n'est dans une position identique de la Figure 5a. Les disparités rétiniennes sont de 30 secondes d'arc en haut et de 15 en bas. En raison de ces très petites disparités, la plupart des sujets normaux sont incapables de les discriminer.

Procédure

Le test T.N.O. est regardé de façon binoculaire avec des lunettes anaglyptiques. Les filtres rouge à droite et vert à gauche, permettent la perception de l'image en-deça du plan principal alors que les verres rouge à gauche et vert à droite donnent une image flottante. Le test est administré dans une pièce très bien éclairée. Chaque planche est présentée bien en face à 40 cm des yeux du sujet qui regarde les figures avec les lunettes, filtre rouge à droite, filtre vert à gauche. Seule la réponse bonne ou mauvaise est enregistrée. Aucune limite de temps n'est imposée au sujet.

Consigne

"A chaque planche, je vais vous demander une tâche différente, vous me dites ce que vous voyez".

Stéréopsie globale

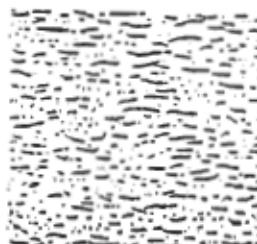
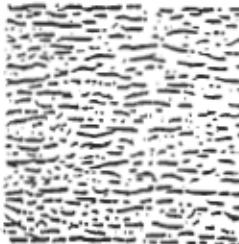
Nature des stimuli

La Figure 9a présente une paire de stéréogrammes tels que

conçus par Julesz en 1964. Les deux matrices sont faites de points générés au hasard par l'ordinateur. Ces points (rouges et bleus) forment des lignes horizontales qui alternent en rouge et en bleu et couvrent complètement un écran sur une surface de 12 degrés d'angle visuel sur le plan vertical et de 17.5 degrés d'angle visuel sur le plan horizontal. A chaque ligne, 50% des points sont allumés et distribués au hasard. Les deux matrices mesurent 3 cm de long par 7 cm de haut, avec un angle visuel de 1.5 degré pour la disparité quatre; 3.5 cm par 7 cm avec un angle de 1.75 degré pour la disparité huit; puis 4 cm par 7 cm, avec un angle visuel de 2 degrés pour la disparité douze.

Ces deux matrices sont absolument identiques à une différence près (Figure 9b). En effet, les aires A représentent les portions où les points identiques sont à la fois fusionnés et décalés. Mais pour créer l'effet stéréoscopique désiré, il faut produire une disparité entre les deux stéréogrammes perçus par le sujet. Ainsi, les portions X et Y se situant sur un même axe vertical, représentent les zones comblées par de nouveaux points (non fusionnés), une fois le décalage achevé (Figure 9c). La direction du décalage, soit à gauche ou à droite, détermine si le carré sera vu en-deçà ou bien au-delà du plan principal (Figure 9d). Dans le cas d'un carré vu en-deçà, les points rouges sont déplacés vers la droite et les bleus vers la gauche pour réaliser une disparité divergente (non-croisée, positive). Dans le cas contraire, soit un carré vu au-delà du plan principal, les points rouges

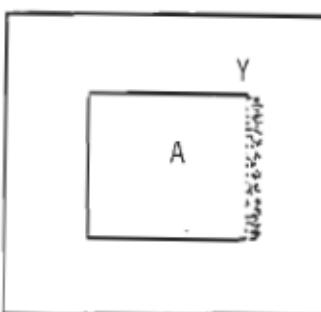
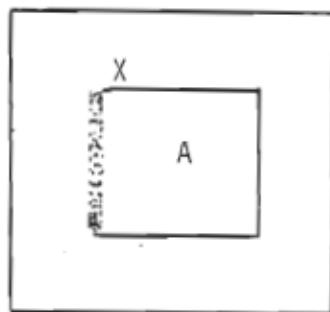
Figure 9



- a) Paire de stéréogrammes de points aléatoires rouges et bleus.

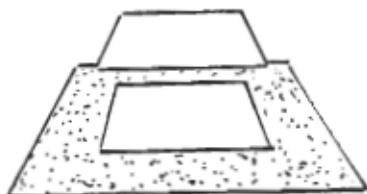
1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1



- b) Façon de produire la disparité horizontale nécessaire à la stéréopsie. Le stéréogramme a une densité de 192 X 276 points (pixels); capacité de résolution de l'écran.

- c) Les sections A dans lesquelles les points sont identiques, fusionnés et décalés. Les portions X et Y sont comblées par les nouveaux points.



- d) La fusion binoculaire des figures présentées en a) génère la perception d'un carré central flottant devant l'arrière plan.

sont déplacés vers la gauche et les bleus vers la droite pour construire une disparité convergente (croisée, négative). La grandeur du décalage sert à déterminer le degré de disparité rétinienne.

Donc, pour une disparité de 0.5 degré, les points sont déplacés de quatre unités de chaque côté; pour une disparité de un degré, ils le sont de huit unités, pour une disparité de 1.5 degré, ils sont déplacés de 12 unités et ainsi de suite. Par exemple, pour une disparité divergente et positive (non-croisée) de 1 degré, il y a déplacement de huit points rouges vers la droite et de huit points bleus vers la gauche.

Chaque stéréogramme est présenté pendant 150 millisecondes pour être remplacé complètement par un autre stéréogramme original. De plus, une croix blanche, mesurant 1 degré par 1 degré d'angle visuel, se situe au centre de l'écran et sert de point de fixation. En vision centrale, l'un des stéréogrammes est projeté à 1.5 degré en haut et l'autre à 1.5 degré en bas de la croix ou point de fixation, de façon à ne pas empiéter sur ce point.

Présentation des stimuli

Les stéréogrammes sont présentés au centre du champ visuel (excentricité 0^0) en tenant compte des variables de disparité réti-

nienne. En effet, des disparités différentes, allant de -.50 à 1.5 degrés avec un intervalle de 0.5 degré, sont utilisées par le micro-ordinateur dans le but de créer, de façon aléatoire, une forte sensation de profondeur. Ainsi, chaque oeil ne voit qu'une seule image (Figure 9 d) pendant que le cerveau effectue la fusion de ces deux images.

Description des appareils

Un moniteur couleur (Sony, Trinitron - 48) branché à une imprimante (Epson MX100) puis relié à un micro-ordinateur (Apple II) présente les stimuli sous la forme de stéréogrammes. Ce moniteur couleur est placé sur une table ajustable afin de maintenir le point de fixation, situé au centre du stéréogramme, au niveau des yeux du sujet assis. Une distance de 114 cm doit exister entre ce point et les yeux. L'effet stéréoscopique est obtenu par le port de lunettes dont l'une des lentilles est recouverte d'un prisme rouge pour l'oeil droit et d'un prisme bleu pour l'oeil gauche. Ainsi, l'oeil gauche ne perçoit que la partie du stéréogramme projetée en bleu et l'oeil droit que la partie projetée en rouge. La luminosité des points rouges produite à l'écran et filtrée par le prisme rouge est de 0.5 foot candle (fc.) et de 0.036 fc. lorsqu'elle est filtrée par le prisme bleu. La luminosité des points bleus projetée à l'écran et filtrée par le prisme bleu est de 0.19 fc. et de 0.016 fc. si elle est vue à travers le prisme rouge. Ces différences de luminosité, mesurées à l'aide d'un photomètre (Luminax 3

de Gossen), servent à la discrimination des images rouges et bleues à partir des prismes rouge (oeil droit) et bleu (oeil gauche). Une disquette contient l'enregistrement de 400 stéréogrammes (10 séries de 40 essais) d'où la stéréopsie peut être extraite. Une deuxième table, située derrière le sujet, permet de recevoir le microordinateur, l'imprimante (Epson 100 MX), le lecteur de disquettes et la lampe noire nécessaire à la manipulation de l'ordinateur dans l'obscurité totale.

Procédure

La même mise en scène est utilisée dans ce test de stéréopsie globale que dans le test précédent. Cependant, le déroulement de l'expérience comprend deux étapes. La première consiste en une tâche d'apprentissage de discrimination des stéréogrammes.

Ainsi, tous les sujets doivent apprendre (binoculairement) à percevoir le carré apparaissant en-deça ou au-delà de la surface du stéréogramme. L'apprentissage se poursuit jusqu'à l'obtention du critère final de réussite qui est fixé à 36 bonnes réponses dans une série de 40 essais, à une vitesse de 350 m/sec et ce, pendant deux séries consécutives de 40 essais, c'est-à-dire deux fois 90% de réussite.

La période d'apprentissage nécessite en moyenne 400 essais à chacune des conditions ($\pm 12^\circ$, $\pm 8^\circ$, $\pm 4^\circ$, indices de disparités employés par l'ordinateur) et cela à des vitesses de présentation partant de 90,000 millisecondes pour en arriver progressi-

vement au pré-test de 350 ms. Au total, la seule période d'apprentissage demande environ 1200 essais par sujet. Une fois les deux notes consécutives de 90% obtenues à la vitesse de 350 ms, le test proprement dit peut commencer. Il se compose de deux séries de 40 essais par disparité mais avec un temps de présentation de 150 ms. Le temps de présentation est commandé par l'expérimentateur tandis que la projection aléatoire des stéréogrammes est entièrement sous le contrôle de l'ordinateur. Les réponses du sujet sont enregistrées sur l'ordinateur par l'expérimentateur pour être retransmises sur l'imprimante. Un pourcentage est indiqué à la fin de chaque série.

Consigne

"Veuillez regarder le point de fixation au centre de l'écran et me dire si le carré vous apparaît en avant ou en arrière".

Test de stéréopsie grossière-objets

Nature des stimuli

Les stimuli sont constitués de 16 paires de petits objets. Ils représentent des objets familiers tels que: balles, cubes, triangles, cuillères, barils, autos, camions et tasses. Chaque unité de la paire est peinte, l'une en jaune (600 millimicrons, spectre électromagnétique) et l'autre en vert (500 mm) afin de faciliter un

repérage rapide de ceux-ci par le sujet lors de la brève exposition à la lumière stroboscopique. Même si la forme des deux objets constituant la paire est identique, la taille elle est différente; ce contrôle supplémentaire est fait dans le but d'empêcher le sujet d'utiliser l'indice de grandeur rétinienne; en effet, l'objet produisant la plus grande image rétinienne est tantôt devant, tantôt derrière le point de fixation.

L'espace cubique de chaque stimulus représente à peu près 80 cm³. Chaque paire de stimuli est utilisée à deux reprises dans chacune des séries et par conséquent à huit fois dans le test complet (quatre séries).

Donc, l'expérimentation totale se résume à un test qui comprend quatre séries de 16 essais chacun ce qui fait 64 essais en tout. Finalement, l'ordre de présentation des stimuli ainsi que leur position varient d'une série à l'autre et se succèdent au hasard.

Description des appareils

Le montage expérimental est composé d'une grande table, de 75 centimètres de largeur par 200 centimètres de longueur, qui est percée d'une ouverture de huit centimètres par quatre centimètres en son centre. Elle est supportée par un cric permettant d'ajuster la hauteur au niveau des yeux du sujet lorsque celui-ci est assis. La table est

recouverte d'un drap de laine entièrement noir et non lustré ce qui élimine la réflexion de la lumière. Ce drap, également troué en son centre, forme une pente ascendante au fur et à mesure qu'il s'approche du mur auquel il se fixe (Figure 8). La disposition du drap ainsi que la couleur noire ont pour but d'éliminer les indices monoculars de profondeur à savoir les indices de luminosité et de repère angulaire.

Dans la fente du centre de la table est installée une diode rouge de 3.5 volts alimentée par des piles de même voltage. Cette diode constitue le point de fixation utilisé par le sujet. Elle est située à trois mètres de la lampe stroboscopique dans le but de neutraliser le plus possible les ombrages qui pourraient être des indices monoculars d'analyse de la profondeur. Sur un axe horizontal, le point de fixation central se trouve à 114 centimètres des yeux du sujet.

Un cadre de bois noir, fixé sur le devant de la grande table, supporte un rideau de laine noire opaque dont les dimensions sont les suivantes: 45 cm de hauteur sur 95 cm de largeur. Une fois fermé, ce rideau permet les manipulations, par l'expérimentateur, des objets sur la table sans que le sujet perçoive la lumière noire (black light) allumée entre les essais et facilitant la mise en place des stimuli.

Un appareil nommé stroboscope (photo-stimulor-Grass, modèle PS2, Grass medical instruments) dont la lampe est installée à trois

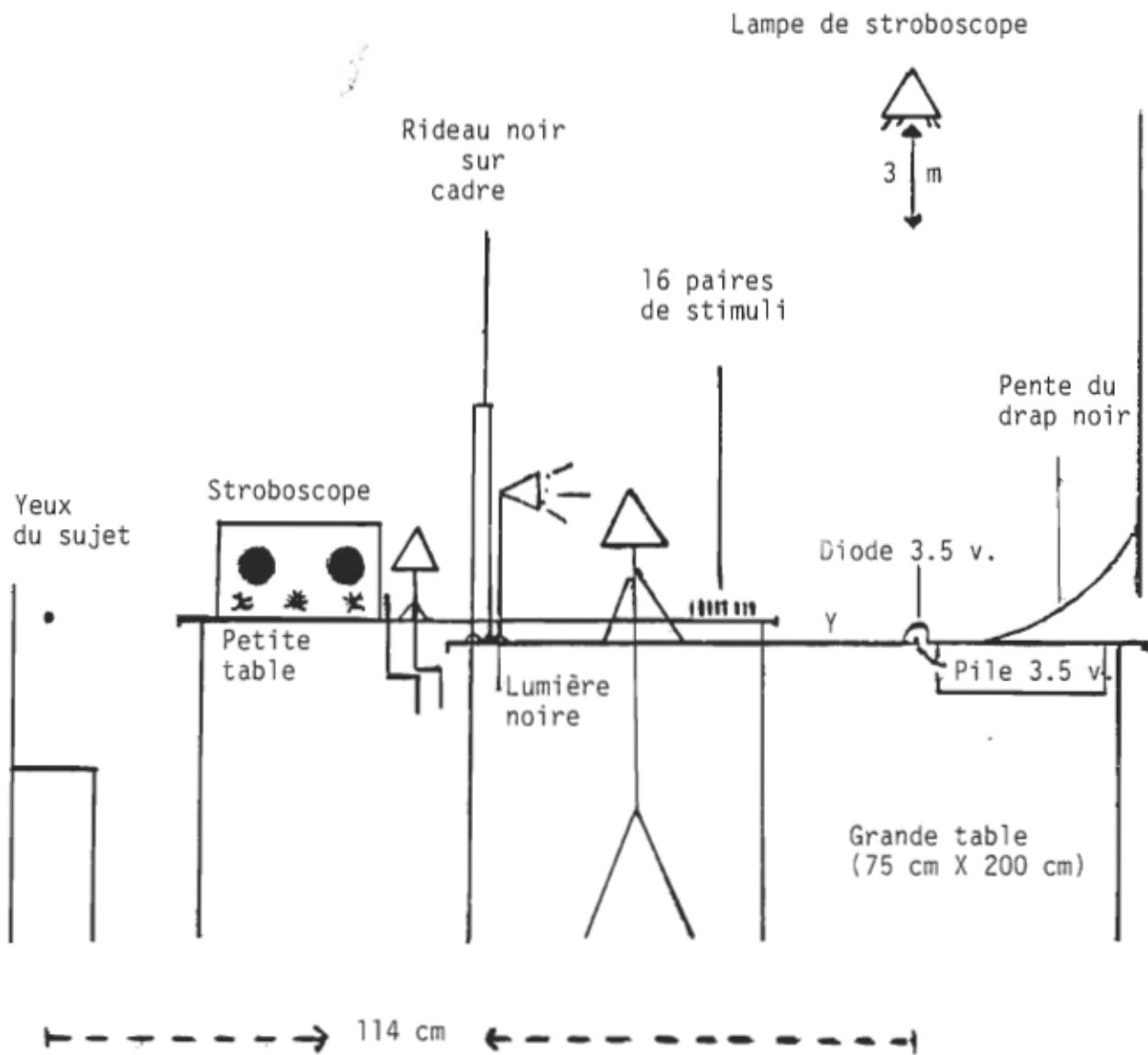


Figure 8 - Appareil de perception de la profondeur.
(Modifié de Bernier, 1983)

Y: Emplacement des stimuli

mètres au-dessus de la diode permet d'illuminer les stimuli pendant une durée de 150 millisecondes. Cet éclair de 150 millisecondes est employé dans le but d'éviter tout balayage oculaire et par le fait même de s'assurer de la fixation du regard sur le point central. Pour mettre l'appareil en marche, il suffit de placer le commutateur "power" en position "on", le bouton "intensity" (servant à régler au maximum l'intensité de luminosité) en position 16, le bouton "delay, m.s.", à 150 millisecondes, enfin de provoquer l'éclair en manipulant le commutateur placé en position de présentation simple.

Une seconde table, installée le plus près possible de la table principale, est nécessaire afin de placer les 32 stimuli (alignés dans leur ordre de présentation), le stroboscope et de permettre la notation des résultats par le deuxième expérimentateur. Il s'agit de partager la tâche entre les deux expérimentateurs. La première personne place donc les stimuli sur la table, ouvre et ferme le rideau puis donne les consignes au sujet tandis que la seconde actionne la lampe stroboscopique, allume la lumière noire et enregistre les résultats sur les protocoles.

Procédure

Après la vérification de l'appareillage, l'expérimentateur familiarise le sujet avec le montage expérimental et lui explique les consignes. Une fois l'acclimatation achevée et la compréhension des

consignes vérifiée, le sujet s'installe, face à la grande table, sur une chaise confortable munie d'un appui-tête et d'une mentonnière. Le cric situé sous la table est actionné afin d'ajuster la hauteur de celle-ci au niveau des yeux du sujet assis. Une distance de 114 cm est calculée entre le sujet et la diode rouge située au centre de la table. Il reste à bien centrer les yeux du sujet sur le point de fixation. Cette précision est importante car elle sert à conserver l'angle de vision à l'intérieur de ce schéma expérimental à savoir 0.5 degré de part et d'autre du point de fixation.

Après quelques essais de pratique, l'expérimentation proprement dite débute. Pendant que le sujet s'habitue à l'obscurité totale, le rideau noir est fermé, la lumière noire est allumée, une paire de stimuli est placée aux endroits indiqués sur le drap. Si le sujet est prêt, la lumière noire est éteinte, le rideau est ouvert puis l'éclair stroboscopique illumine subitement les stimuli. Le sujet doit indiquer lequel des deux stimuli, le vert ou le jaune, se trouve le plus près de lui. Le résultat est noté et le scénario recommence ainsi 64 fois. La vitesse des réponses n'est pas considérée, seule la réponse verbale, bonne ou mauvaise, est notée et constitue les données servant à établir la capacité de voir la profondeur. Une pause est accordée entre les quatre séries si la situation l'impose. Les quatre séries du test sont toutes faites en condition centrale seulement, c'est-à-dire à 0.5 degré d'angle visuel, l'un à gauche et l'autre à droite du point central

(diode rouge) et ce, en respectant les disparités relatives de 0.25 à 0.50 degrés. De plus, une série de 16 essais est perçue de façon monoculaire tandis que les autres sont vues binoculairement. Ainsi, chaque hémisphère reçoit l'information de l'emplacement des deux objets. De ce fait, chaque hémisphère indépendamment de l'autre semble en mesure d'effectuer une analyse adéquate de la perception de la profondeur.

Consigne

La consigne donnée est la suivante:

Si vous êtes prêts, nous allons commencer le test. Vous devez nous dire quel objet se trouve en avant de l'autre et par le fait même, le plus près de vous. Je place deux objets sur la table, ils sont de taille différente et de couleur différente, c'est-à-dire l'un est vert et l'autre est jaune. Il y a le même nombre d'objets verts que de jaunes. Vous voyez la lumière rouge au centre de la table, je vais vous demander de la regarder toujours attentivement. Les lumières seront éteintes; pendant que vous fixerez la lumière rouge ici, un éclair illuminera les objets sur la table. Vous me direz simplement si c'est le jaune ou le vert qui est le plus près de vous. Nous allons faire quelques essais afin de vous familiariser avec la tâche. Je vais vous répéter très souvent de fixer le point rouge et de nous dire quel objet est le plus près. Entre chaque série, vous pourrez vous reposer si vous le voulez. Avez-vous des questions? Nous allons éteindre les lumières et commencer".

Stéréopsie grossière-lumière

Nature des stimuli

Les stimuli sont composés de deux diodes à deux couleurs (rouge et vert) pouvant, par un système d'inversion, passer du rouge au vert et vice versa. Chaque diode est insérée dans un tube noir de 6 cm de longueur (comme le filtre dans une cigarette) dont l'un des bouts est fermé et l'autre ouvert. Le point de fixation est représenté par une diode à une seule couleur (jaune) placée au centre de la table à 114 cm des yeux du sujet assis.

Dans un plan vertical, la première diode (rouge, vert) est située à 30 cm du point de fixation, et l'ouverture du tube dans lequel elle est insérée a une diamètre de 3 mm. La deuxième diode est située à 19 cm du point de fixation et son ouverture est de 5 mm. Quant au point de fixation, son ouverture est de 7 mm. Afin de maintenir une équivalence au niveau rétinien, le diamètre de la diode augmente à mesure que la distance entre le sujet et le stimulus augmente. Chaque stimulus est placé à 11 cm l'un de l'autre. Dans un plan horizontal, chaque diode se situe à 2.5 degrés, soit à gauche, soit à droite du point de fixation.

Ces trois diodes sont reliées à un bloc d'alimentation de 500 milliampères (Electronic, Instrument, Hkit, modèle 1P18). Cet

appareil possède un interface permettant l'inversion des polarités. Cet interface possède deux potentiomètres permettant de régler l'intensité de la luminosité des couleurs de façon à faire jouer et varier dans la même gamme de luminosité.

Procédure

La procédure appliquée au test de stéréopsie grossière-lumière est à peu près la même que celle utilisée dans la stéréopsie grossière. Le même environnement est mis en place, même préparation et même temps de présentation des stimuli (150 ms.). Seule la forme des stimuli a changé, les diodes remplaçant les petits objets familiers. Comme dans le test de stéréopsie grossière, un des expérimentateurs doit déplacer manuellement les diodes de gauche à droite ou de droite à gauche.

Autre particularité, une des quatre séries composant le test est perçue de façon monoculaire (16 essais) alors que les trois autres séries le sont de façon binoculaire (48 essais). Au total, 64 essais sont notés, bon ou mauvais, et la vitesse des réponses n'est toujours pas considérée.

Consigne

"Fixez bien le point jaune et voulez-vous me dire quelle couleur est la plus près de vous".

Chapitre III

Présentation et analyse des résultats

Sujets

Etant donné que le groupe expérimental ne comprend qu'un seul individu: M.C., le sujet chiasmatomisé, il n'y a aucune pertinence statistique à comparer les groupes entre eux.

Dans le but de contrôler les variables indépendantes que sont l'acuité visuelle et le quotient intellectuel, tous les sujets, contrôles et expérimental, ont en commun une capacité intellectuelle moyenne et une acuité visuelle de 10/10 à l'examen des deux yeux avec la carte Snellen.

Méthode d'analyse

La méthode d'analyse comprend des pourcentages de réussites en fonction du nombre d'essais. Une première analyse individuelle, contenant, les données brutes, en pourcentage, de chaque sujet à chacune des tâches, sera effectuée. Par la suite, une analyse globale pour chacun des groupes sera faite.

Données brutes

Le Tableau 1 représente les résultats individuels obtenus en terme de bonnes réponses par tous les sujets contrôles et expérimental et ce, pour toutes les tâches exécutées. Tous les chiffres expriment des pourcentages.

Tableau 1

Résultats individuels dans les trois tâches de stéréo-perception

Sujets (n=6)	Stéréogrammes (Exp. 1)			Distance entre deux objets (Exp. 2)		Distance entre deux diodes (Exp. 3)			
	DISP. de .5° 1.° 1.5°		T.N.O. en secondes d'arc	DISP.: 25 MONO BINO		DISP.: 50 MONO BINO		DISP.: 50 MONO BINO	
Chiasma- tomisé (n=1)	Nil		240'-480'	54%	63%	48%	78%	56%	75%
Sujets contrôles (n=5)									
a)micro- strabisme	Nil		Nil	56%	63%	63%	69%	44%	63%
b)normaux									
C.D.	99%	93%	100%	30'	54	100	38	100	65%
R.C.	100%	85%	68%	60'	50	100	50	100	52
A.D.	85%	90%	60%	60'	33	97	46	100	56
Y.P.	88%	60%	40%	120'	50	100	50	100	63

Exp. = expérience

Disp. = disparité

mono = monoculaire

bino = binoculaire

Tableau 2

Résultats des groupes contrôles et expérimental dans les trois tâches de stéréoperception

Sujets (n=6)	Stéréogrammes (Exp. 1)		Distance entre deux objets (Exp. 2)		Distance entre deux diodes (Exp. 3)	
	DISP. de .5° 1.° 1.5°	T.N.O. en secondes d'arc	DISP.: 25 MONO BINO	DISP.: 50 MONO BINO	DISP.: 50 MONO BINO	
Chiasma- tomisé (n=1)	Nil	240'-460'	54% 63%	48% 78%	50%	75%
Sujets contrôles (n=5)						
a)micro- strabisme	Nil	Nil	56% 63%	63% 69%	44%	63%
b)normaux (n=4)	93% 82% 67%	30'-480'	46% 99%	46% 100%	59%	100%

Exp. = expérience
 Disp. = disparité
 mono = monoculaire
 bino = binoculaire

Calcul des moyennes

Le Tableau 2 donne les moyennes, en pourcentage, des groupes aux trois tâches stéréoscopiques. La Figure 10 représente graphiquement les résultats signalés au Tableau 2.

Rendements des groupes

Tâche de stéréopsie globale (stéréogrammes T.N.O.)

M.C., le sujet chiasmatomisé, discrimine très peu (seuil de 240') même après une exploration minutieuse (10 minutes) des planches. Seules quelques parties du stéréogramme sont vues en trois dimensions.

En effet, dans les planches I, II et III du test, M.C. est incapable d'identifier au complet la forme ou la taille des objets cachés. Dans les planches d'évaluation quantitative (V à VII), permettant de déterminer l'acuité stéréoscopique sur une gamme de parallaxe de 480 à 15 secondes d'arc, M.C. réussit à voir de façon binoculaire que la Figure V. C'est dire que là où la forme supporte les stéréogrammes la performe de M.C. est meilleure (Figure 10 d).

Le groupe contrôle normal discrimine de façon très satisfaisante en obtenant des seuils variant entre 30 et 120 secondes d'arc.

Le deuxième groupe contrôle, R.T., porteur d'un micro-strabisme, ne voit aucun stéréogramme au complet.

Tâche de stéréopsie globale (stéréogrammes de Julesz)

Les deux sujets, chiasmatomisé et strabique, ont échoué cette tâche de stéréopsie globale, quel que soit le degré de disparité présentée. En effet, les deux sujets cliniques sont tellement démunis face aux stéréogrammes, malgré un temps de représentation augmenté et un sur-apprentissage, que la pertinence à continuer la passation est à toutes fins pratiques nulle. D'où des résultats exprimés en termes de "nil".

Les sujets contrôles normaux ont tous obtenu, après une période d'apprentissage allant de 120 à 880 présentations de stimuli, un résultat très élevé (85 à 98%) à la disparité rétinienne de 0,5 degré. Cette disparité est obtenue à partir de l'ordinateur par la programmation de points (pixels) exprimant un décalage de ± 4 degrés sur l'écran. A la disparité rétinienne de un degré (exprimée par les valeurs $\pm 8^0$ de l'ordinateur) trois sujets normaux ont réussi, après une période d'apprentissage allant de 120 à 240 présentations de stimuli, une performance entre 85 et 100%. Seul Y.P. échoue avec un rendement au hasard (60%) et ce, même après une période de sur-apprentissage durant laquelle 1169 discriminations lui ont été présentées.

A la disparité rétinienne de 1.5 degré, provoquée par un décalage de ± 12 degrés sur l'écran, la discrimination a nécessité une augmentation du nombre de présentations, celles-ci passant de 200 à 920.

Seule C.D. avec un résultat de 100% discrimine avec certitude tandis que R.C. (67.5%), A.D. (60%) et Y.P. (40%) répondent de façon aléatoire.

En résumé, la discrimination des disparités 0.5 degré et un degré est bien accomplie alors que la réponse à la disparité 1.5 degré se situe au niveau du hasard sauf chez C.D. (Figure 10 a).

Tâche de stéréopsie grossière (objets)

Le sujet chiasmatomisé (M.C.) obtient des résultats moyens seulement si la distance entre les objets est grande (que 0.50°) et ce, en condition binoculaire (78%). Dans toutes les autres situations, les performances se retrouvent au niveau du hasard.

Le groupe contrôle normal a une performance parfaite aux deux disparités relatives de 0.25 et 0.50 degrés si la condition est binoculaire (99% à 100%) alors que la perception monoculaire donne des résultats se situant au niveau du hasard (46 et 46%).

Le sujet porteur d'un micro-strabisme discrimine au hasard (63 et 69%) et ce, dans toutes les situations binoculaires (Figure 10 b).

Tâche de stéréopsie grossière (lumière)

Le sujet chiasmatomisé (M.C.) est capable d'évaluer binoculairement la grande distance (0.50°) entre les deux diodes et obtient un résultat de 75%.

Le groupe contrôle normal affiche une performance parfaite en condition binoculaire (100%).

Le sujet strabique (R.T.) discrimine au hasard (63%) dans ce test (Figure 10 c).

Les résultats suggèrent que dans tous les tests de stéréoperception, la condition monoculaire conduit à des scores peu élevés qui les situent au niveau du hasard. Donc la perception stéréoscopique implique nécessairement la binocularité.

Stéréopsie globale (stéréogrammes de Julesz)

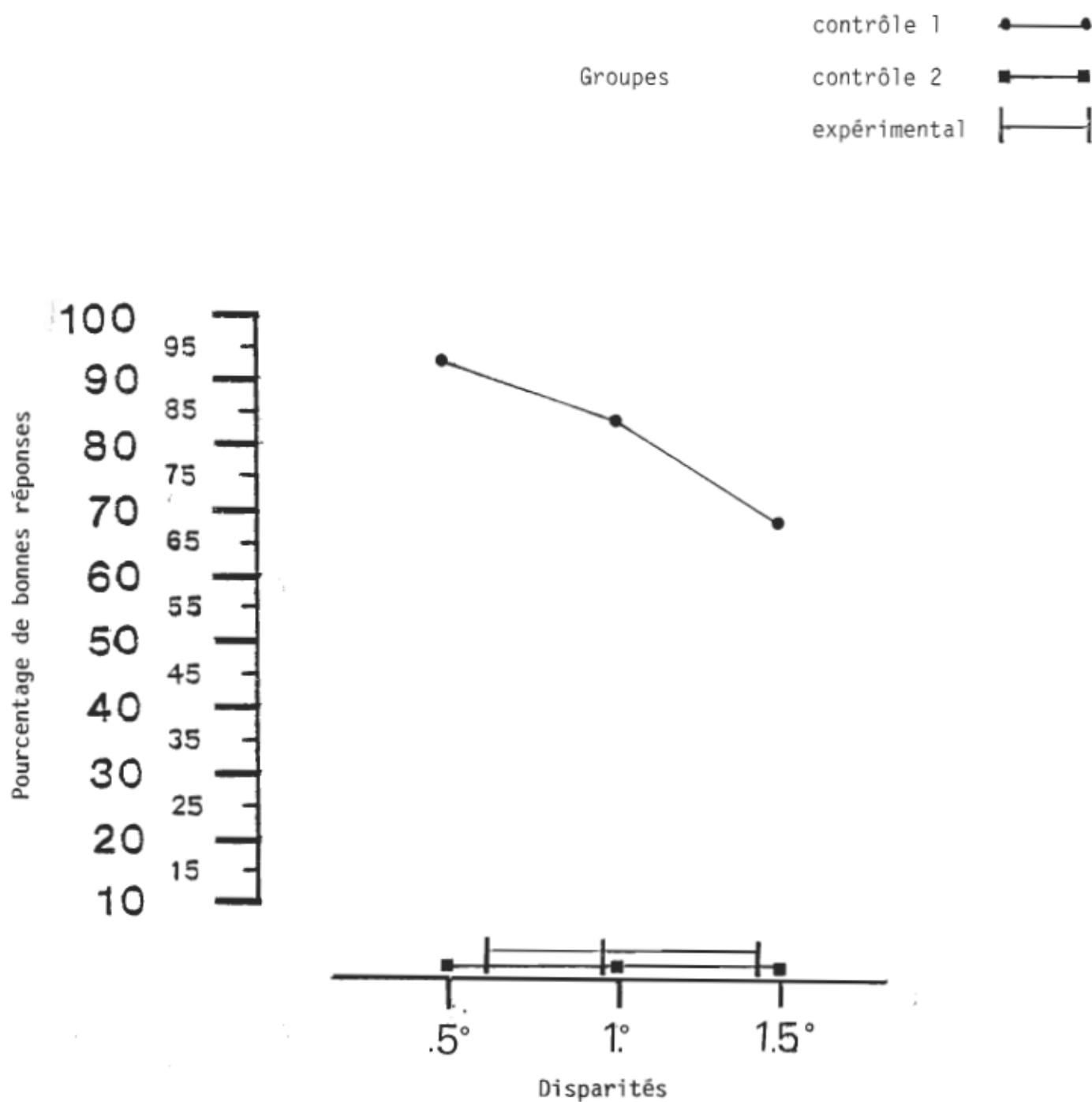


Figure 10 a - Moyennes des groupes contrôles et expérimental. Le sujet expérimental ne peut discriminer aucun stéréogramme fait à partir de points aléatoires.

Stéréopsie grossière-objets

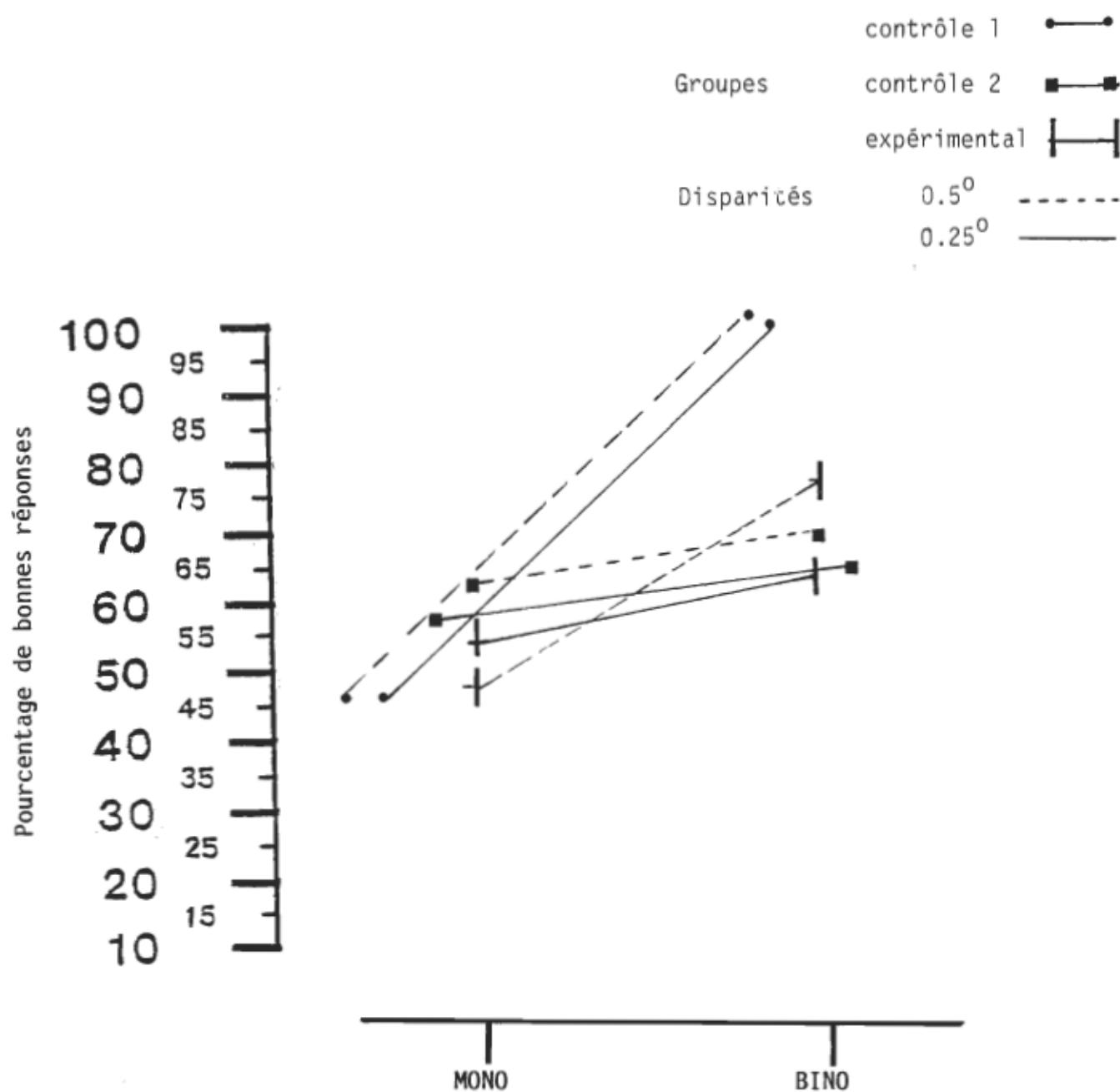


Figure 10 b - Moyennes des groupes contrôles et expérimental avec les disparités 0.25° et 0.50° . En binoculaire, le sujet expérimental obtient de meilleurs résultats avec la disparité 0.50° .

Stéréopsie grossière-lumière

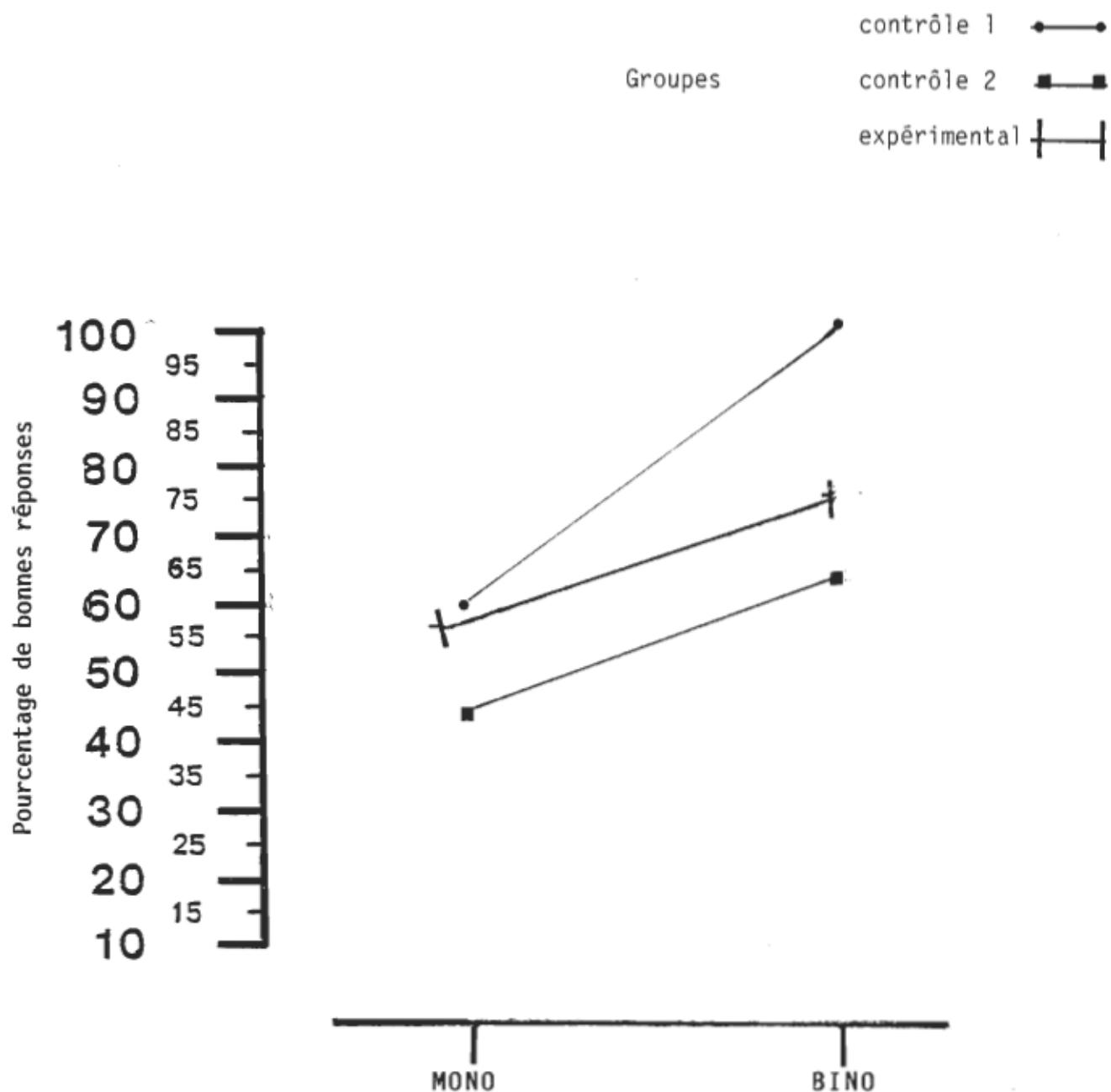


Figure 10 c - Moyennes des groupes contrôles et expérimental. En monoculaire, les résultats sont bas pour tous les groupes. En binoculaire, à la disparité 0.50°, le sujet expérimental offre une performance satisfaisante.

Stéréopsie globale - Stéréogrammes du T.N.O.

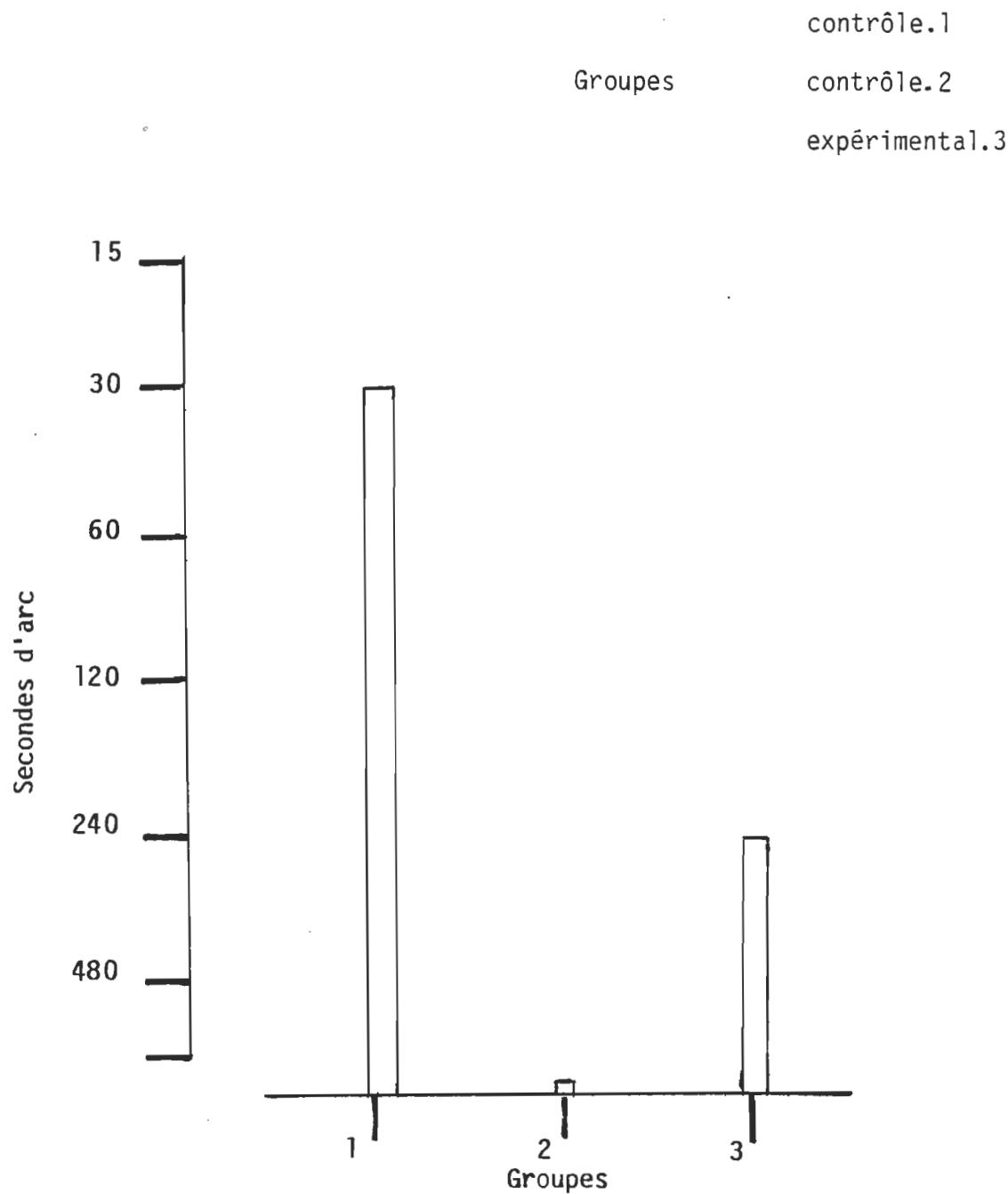


Figure 10 d - Moyennes des groupes contrôles et expérimental. Le sujet chiasmatomisé voit la planche V en stéréoscopie mais de façon imparfaite.

Chapitre IV

Interprétation des résultats et discussion

Le sujet expérimental (M.C.) possède un alignement oculaire correct et une acuité satisfaisante des deux yeux. Mais avec un circuit visuel perturbé (section du chiasma), il parvient à ne discriminer que si la distance relative entre les objets est grande (0.50^0).

La perception binoculaire des petites disparités (0.25^0) ou des grandes disparités relatives (0.50^0) entre deux objets, est parfaite chez le groupe contrôle normal en raison d'un alignement oculaire correct (aucune histoire de strabisme), d'un circuit visuel intact et d'une acuité visuelle normale pour les deux yeux. Cette performance du groupe contrôle normal est de loin supérieure à celle du sujet chiasmatomisé (M.C.) et du sujet porteur d'un micro-strabisme (R.T.) et ce, quelle que soit la tâche.

Le deuxième sujet contrôle (R.T.) possède une acuité visuelle normale, un circuit visuel adéquat mais un alignement interoculaire légèrement divergent (micro-strabisme). De ce fait, le sujet est incapable de discriminer de façon correcte les tâches stéréoscopiques.

Bien sûr, il semble bien que la structure principale impliquée dans la perception globale de la profondeur soit le chiasma optique puisque son absence réduit considérablement la binocularité corticale, mais les résultats du sujet chiasmatomisé laisse peu de doute quant à la contribution du corps calleux dans la perception de grandes disparités (grossière), et ce au-delà du hasard, à condition que la

présentation de l'objet soit en position centrale.

Les résultats de cette recherche confirment le fait que la discrimination optimale des disparités horizontales est toujours de type binoculaire et que la stéréopsie est essentiellement un phénomène binoculaire. Le Tableau 1 est là pour attester que la performance monoculaire n'est en aucun cas supérieure à la performance binoculaire et ce, chez tous les sujets. En effet, la parallaxe binoculaire produit essentiellement des disparités dans le plan horizontal. La seule mesure directe de sensibilité à la disparité spatiale ou relative consiste à faire varier systématiquement la disparité spatiale des stimuli (0.25^0 , 0.50^0) présentée aux sujets. Ainsi, la variation du niveau de réponses des cellules binoculaires en fonction de la disparité croisée et non croisée est la mesure qui permet de juger de la sensibilité stéréoscopique aux stimuli disparates.

L'investigation stéréoscopique de cette recherche s'effectue en comparant les habiletés enregistrées chez des sujets normaux, chiasmatomisé et porteur d'un micro-strabisme. Elle tente de déterminer l'importance des projections calleuses dans la perception de la profondeur, en position centrale, de petites (stéréopsie globale) et de larges (stéréopsie grossière) disparités rétiniennes. Ainsi, la présence d'une section sagittale du chiasma optique, chez le sujet M.C., limite les afférences rétiniennes des deux yeux aux hémisphères ipsilatéraux et constitue une mesure directe de l'activité fonctionnelle

des fibres du splénium (corps calleux) dans la perception de la stéréopsie en position centrale. Dans un tel contexte (chiasmatomie), on doit supposer l'existence d'un quelconque lien interhémisphérique entre les deux cortex visuels isolés. Le splénium du corps calleux semble réaliser ce lien (Myers, 1953). De plus, les observations anatomiques (Innocenti, 1980) montrent clairement que les projections interhémisphériques, d'origine calleuse, sont essentiellement limitées à une mince bande de cortex où figure la représentation du méridien vertical, c'est-à-dire la région située à l'intersection des deux hémichamps. Du point de vue électrophysiologique, ces données anatomiques laissent supposer que les champs récepteurs des cellules recevant des afférences calleuses vont représenter la partie centrale du champ visuel. On est en droit de s'attendre, de la part de M.C., à une perte de stéréopsie, dans l'axe médian, dans la situation de disparités non-croisées (stimulation chiasmatique).

En effet, les résultats du sujet chiasmatomisé, M.C., sont nuls dans la stéréopsie globale, peu élevés avec la disparité croisée 0.25^0 , et moyens avec la disparité croisée 0.50^0 .

Evidemment, l'absence du chiasma optique (qui met en relation corps calleux et binocularité) entraîne une baisse importante du nombre de cellules binoculaires au niveau du cortex strié du chat (Berlucchi et Rizzolatti, 1968). Cependant, les champs récepteurs des quelques cellules binoculaires encore existantes représentent la région du méridien

vertical. Les résultats du sujet chiasmatomisé viennent confirmer les hypothèses les plus fréquemment répandues sur le rôle du corps calleux dans l'intégration de l'information visuelle à savoir qu'il assume la continuité entre les deux hémichamps en plus d'assurer la perception de la profondeur dans l'axe frontal à la condition que les disparités rétiniennes se situent autour de 0.50^0 (stéréopsie grossière). Ainsi, ce sujet (M.C.), dont l'acuité visuelle est par ailleurs satisfaisante, peut évaluer plutôt correctement la profondeur apparente de deux stimuli présentant une disparité convergente et croisée, stimulation des deux hémirétines temporales dans l'axe frontal (Blakemore, 1970) à la condition que les disparités rétiniennes soient grossières alors que les disparités plus fines sont peu ou pas discriminées (stéréopsie globale).

Quant au sujet porteur d'un micro-strabisme (R.T.) depuis l'âge de quatre ans, les résultats sont bas sur toute la ligne. C'est dire que très tôt dans la vie, R.T. est incapable de converger et donc de bien percevoir les images de disparités croisées (quelle que soit l'ampleur). Cette présence de strabisme, fut-il minime, contribue à divers degrés à son incompétence stéréoscopique. A cet égard, Crawford et al. (1984) rapportent l'expérience de singes macaques simulant un strabisme à partir de prismes installés à l'âge de deux mois. Après 30 jours consécutifs, les singes s'avèrent totalement incapables, à l'âge adulte, de percevoir la profondeur induite par les stéréogrammes (stéréopsie globale). De plus, l'enregistrement micro-électro-physiologique effectué chez les animaux adultes témoigne d'une réduction

importante de cellules binoculaires. Il est permis de conclure que l'acuité stéréoscopique croisée, qui se développe plus tôt chez l'enfant que l'acuité stéréoscopique non croisée (Birch et al., 1982), est modifiée par des perturbations d'ordre visuel au cours de la période critique de développement. De ce fait, chez R.T. la perte de possibilités ou d'enrichissement de l'impression stéréoscopique est en relation avec le non développement de cellules binoculaires à un stade précoce de développement. Ainsi, perte de binocularité et baisse d'acuité stéréoscopique vont de pairs. Chez le chat, les expériences de Shinkman et al. (1984) appuient également la relation existant entre l'absence de perception stéréoscopique et la baisse de binocularité au niveau du cortex visuel, tout comme la privation binoculaire au cours de la période critique, chez le chaton qui élimine la vision stéréoscopique (Kaye et al., 1982; Timney, 1983).

Chez les sujets normaux, les résultats sont tous très élevés si la condition est binoculaire et ce, quelle que soit la disparité rétinienne proposée (0.25^0 , 0.50^0).

Donc, la présence du chiasma optique et un alignement interoculaire parfait permettent une discrimination de la profondeur à partir des petites disparités rétiniennes, stéréopsie globale (ce que les sujets chiasmatomisé et strabique ne peuvent pas) et à partir de larges disparités, stéréopsie grossière (ce que chiasmatomisé peut d'une façon satisfaisante et que le strabique ne peut pas).

Ainsi, sans chiasma optique, ces résultats s'expliquent par le fait que l'image présentée en avant du point de fixation (convergente et croisée) va stimuler les hémirétines temporales gauche et droite et se retrouver aux deux hémisphères pour être fusionnée par l'intermédiaire de la commissure néo-corticale. En dépit du fait que chaque hémichamp visuel est représenté dans le cortex contralatéral, le système visuel est parfaitement capable d'unifier les informations se présentant de part et d'autre du méridien vertical et ce, même si le traitement de l'information est réalisée dans des hémisphères différents. En l'absence du chiasma optique, le corps calleux offre ce lien inter-hémisphérique capable de favoriser l'union des deux hémichamps (Gazzaniga et al., 1965) et permettant l'interaction binoculaire sur laquelle repose la sensibilité à la disparité spatiale. En effet, lorsqu'on demande au sujet chiasmatomisé de regarder les stimuli présentés dans le champ visuel central, ce dernier devient capable de discriminer correctement si la disparité rétinienne induite est de l'ordre de 0.50 degré ou plus. Ce patient se comporte comme si l'information chevauchant le méridien vertical est suffisante pour déduire la perception binoculaire de la profondeur ou la stéréopsie grossière. Le cerveau semble donc capable d'intégrer certains degrés de disparités dans les images rétinianes chez le sujet privé de son chiasma optique. Si ces disparités sont minimes ou fines, c'est-à-dire en-deçà de 0.50 degré, la discrimination est faible. Si les disparités sont plus larges, c'est-à-dire au-dessus de 0.50 degré, la

discrimination de la profondeur relative entre deux objets ou diodes (stéréopsie-grossière) est satisfaisante. Au-delà de certains degrés, la vision diploïque va prendre place.

En résumé, il y a donc une possibilité de binocularité en-dehors du croisement chiasmatique parce que le spénium joue un rôle de premier plan dans la perception stéréoscopique dans l'axe médian, à partir de larges disparités, en permettant d'intégrer l'information localisée dans des hémisphères différents. Mais face à des disparités rétiniennes plus fines, le chiasma optique est la structure stéréoscopique principalement impliquée (stéréopsie globale).

Conclusion

Dans le but d'évaluer la contribution du corps calleux dans les mécanismes neurophysiologiques d'analyse de la disparité spatiale, en condition centrale, la sensibilité stéréoscopique a été mesurée chez des sujets humains normaux, chiasmatomisé et strabique. Pour ce faire, des tests de perception relative de la profondeur entre deux objets, deux diodes et des stéréogrammes (T.N.O. et Julesz, 1964) ont été administrés. Le niveau de bonnes réponses, suscité par des stimuli offrant divers degrés de disparités, est utilisé pour construire un profil de sensibilité à la disparité relative ou la stéréopsie.

Les résultats de la présente étude démontrent qu'il existe une nette facilité binoculaire chez tous les sujets normaux dans les trois tâches de détection de disparités spatiales utilisées. Il existe, par ailleurs, un éventail beaucoup plus restreint de disparités relatives détectables par le sujet chiasmatomisé. Finalement, le sujet strabique se retrouve avec une incapacité de saisir la profondeur spatiale.

Chez le sujet chiasmatomisé, compte tenu que l'interaction binoculaire nécessaire à la sensibilité à la disparité relative est le fruit de la communication calleuse, il est suggéré que la voie calleuse, en absence du chiasma optique, joue un rôle surtout dans la stéréopsie nécessitant de grandes disparités c'est-à-dire grossière mais échoue dans la stéréopsie nécessitant une analyse très fine des disparités rétinienennes.

Ainsi, dans la présente expérience, la perception de la profondeur résiduelle a été vérifiée chez un patient affligé d'une section complète de la principale voie binoculaire, à savoir le chiasma optique. Agé de 31 ans, le sujet a démontré une acuité visuelle des deux yeux à l'intérieur de limites normales. L'examen neuro-ophthalmologique a révélé une hémianopsie temporaire bilatérale avec une perte de champ équivalente de chaque côté de la fovéa en plus d'une exotropie de l'oeil droit qui amène une vision double. Toutefois, sur demande, le sujet est capable de converger et de fusionner deux images pour un court moment. Lorsqu'il s'agit de juger une distance relative, ajustée de façon à produire une disparité rétinienne variant de 0,5 degré à 1.5 degré, les performances du sujet chiasmatomisé ne dépassent pas 75% dans des tâches grossières. Quant aux stéréogrammes (Julesz et T.N.O.), la vision binoculaire est limitée à une partie restreinte des figures tridimensionnelles, les points aléatoires (Julesz) inducteurs de profondeur n'étant pas perçus, nos résultats nous indiquent que sans chiasma optique, la vision binoculaire de la profondeur est présente dans le champ visuel central et n'est pas limitée à la stéréopsie grossière (Blakemore, 1970) mais peut s'étendre aussi à la stéréopsie globale.

Les résultats montrent aussi qu'il existe des neurones sensibles à la disparité spatiale chez un sujet chiasmatomisé. Evidemment, ces neurones semblent spécialisés dans une disparité bien précise alors que chez les sujets normaux, les neurones

binoculaires répondraient spécifiquement à un plus large éventail de disparités (croisées, non croisées). La possibilité de détecter des disparités se situant autour de 0.5^0 dans l'axe médian, rencontrée chez M.C., suggère que le corps calleux contribue à former des cellules binoculaires dont les propriétés leur permettent d'être associées à la stéréopsie grossière alors que les propriétés qui les rendent sujettes à réaliser la fusion stéréoscopique plus fine sont absentes.

—

C'est dire également que la stéréopsie grossière, assurée par les projections calleuses, est limitée au site de représentations du champ visuel central. Le sujet chiasmatomisé (M.C.) est mieux équipé qu'un sujet strabique pour percevoir la profondeur relative en avant du point de fixation qu'en arrière (d'où la nécessité du mouvement de convergence absent dans le strabisme) puisque la stimulation est d'origine temporale. Ainsi, on est en droit de s'attendre, de la part de M.C., à la perception de la profondeur relative qui laisse libre court à de grandes disparités rétiniennes dans l'axe central, c'est-à-dire la stéréopsie grossière. Ces résultats relancent l'implication du corps calleux dans la perception binoculaire de la profondeur.

Appendice A

Protocole expérimental

Test de stéréopsie globale

Nom:

Temps de présentation:

<u>ESSAIS</u>	<u>DISPARITES</u>	<u>EXCENTRICITES</u>	<u>REPONSES</u>	<u>BON OU NON*</u>
1	+4	0		
2	-4	0		
3	+4	0		
4	-4	0		
5	-4	0		
6	+4	0		
7	+4	0		
8	-4	0		
9	-4	0		
10	+4	0		
11	-4	0		
12	-4	0		
13	-4	0		
14	+4	0		
15	-4	0		
16	-4	0		
17	-4	0		
18	-4	0		
19	+4	0		
20	-4	0		
21	-4	0		
22	+4	0		
23	+4	0		
24	-4	0		
25	+4	0		
26	+4	0		
27	-4	0		
28	-4	0		
29	+4	0		
30	-4	0		
31	+4	0		
32	+4	0		
33	-4	0		
34	+4	0		
35	+4	0		
36	+4	0		
37	-4	0		
38	+4	0		
39	+4	0		
40	+4	0		

Tableaux des résultats

Ex./Dis.

12
8
4
0
- 4
- 8
-12

% DE BONNES REPONSES:

Test de stéréopsie globaleNom:Temps de présentation:

<u>ESSAIS</u>	<u>DISPARITES</u>	<u>EXCENTRICITES</u>	<u>REPONSES</u>	<u>BON OU NON*</u>
1	-8	0		
2	-8	0		
3	+8	0		
4	-8	0		
5	+8	0		
6	+8	0		
7	+8	0		
8	-8	0		
9	+8	0		
10	+8	0		
11	+8	0		
12	-8	0		
13	-8	0		
14	-8	0		
15	+8	0		
16	+8	0		
17	-8	0		
18	-8	0		
19	+8	0		
20	+8	0		
21	-8	0		
22	-8	0		
23	-8	0		
24	-8	0		
25	-8	0		
26	+8	0		
27	+8	0		
28	-8	0		
29	-8	0		
30	+8	0		
31	-8	0		
32	+8	0		
33	-8	0		
34	+8	0		
35	-8	0		
36	+8	0		
37	+8	0		
38	+8	0		
39	+8	0		
40	-8	0		

Tableaux des résultats

Ex./Dis.

12
8
4
0
- 4
- 8
-12

% DE BONNES REPONSES:

Test de stéréopsie globaleNom:Temps de présentation:

<u>ESSAIS</u>	<u>DISPARITES</u>	<u>EXCENTRICITES</u>	<u>REPONSES</u>	<u>BON OU NON*</u>
1	-12	0		
2	-12	0		
3	+12	0		
4	+12	0		
5	+12	0		
6	+12	0		
7	-12	0		
8	+12	0		
9	-12	0		
10	+12	0		
11	+12	0		
12	-12	0		
13	+12	0		
14	-12	0		
15	+12	0		
16	-12	0		
17	+12	0		
18	-12	0		
19	+12	0		
20	-12	0		
21	-12	0		
22	-12	0		
23	+12	0		
24	+12	0		
25	+12	0		
26	-12	0		
27	-12	0		
28	+12	0		
29	-12	0		
30	+12	0		
31	+12	0		
32	-12	0		
33	-12	0		
34	-12	0		
35	-12	0		
36	-12	0		
37	+12	0		
38	+12	0		
39	+12	0		
40	-12	0		

TABLEAUX DES RESULTATS DE LA SERIE:

EX/DIS

12
8
4
0
- 4
- 8
-12

% DE BONNES REPONSES:

TEST DE STEREOPSIE GROSSIEREPERCEPTION CENTRALE-OBJETS

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

	<u>Série no.1</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1.	Auto	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
2.	Tasse	1) V-AV-G (gr) 2) J-AR-D (pe)	_____	N 0
3.	Camion	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
4.	Baril	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
5.	Balle	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
6.	Cuillère	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
7.	Cube	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
8.	Triangle	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
9.	Camion	1) V-AR-G (pe) 2) J-AV-D (gr)	_____	N 0
10.	Auto	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
11.	Tasse	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
12.	Baril	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0

	<u>Série no. 1</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
13.	Triangle	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
14.	Cube	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
15.	Balle	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
16.	Cuillère	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0

Légende:

V= Vert
 J= Jaune
 AR= Arrière
 AV= Avant
 G= Gauche
 D= Droit
 GR= Gros
 Pe= Petit

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-OBJETS

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

	<u>Série no.2</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1.	Tasse	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
2.	Cuillère	1) V-AR-G (pe) 2) J-AV-D (gr)	_____	N 0
3.	Triangle	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
4.	Balle	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
5.	Auto	1) V-AV-G (gr) 2) J-AR-D (pe)	_____	N 0
6.	Cube	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
7.	Baril	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
8.	Camion	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
9.	Cuillère	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
10.	Auto	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
11.	Camion	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
12.	Triangle	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
13.	Balle	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0

	<u>Série no. 2</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
14.	Baril	1) V-AV-G (gr) 2) J-AR-D (pe)	_____	N 0
			_____	N 0
15.	Tasse	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
			_____	N 0
16.	Cube	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (ge)	_____	N 0
			_____	N 0

Légende:

V= Vert
 J= Jaune
 AR= Arrière
 AV= Avant
 G= Gauche
 D= Droit
 GR= Gros
 Pe= Petit

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-OBJETS

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____
 AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____
 SEXE: _____ Q.I.: _____
 DISPARITE: _____

	<u>Série no.3</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1.	Triangle	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
2.	Baril	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
3.	Auto	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
4.	Balle	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
5.	Cube	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
6.	Cuillère	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
7.	Tasse	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
8.	Camion	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
9.	Triangle	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
10.	Balle	1) V-AV-G (gr) 2) J-AR-D (pe)	_____	N 0
11.	Cuillère	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
12.	Baril	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
13.	Tasse	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0

	<u>Série no. 3</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
14.	Auto	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
			_____	N 0
15.	Cube	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
			_____	N 0
16.	Camion	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
			_____	N 0

Légende:

V= Vert
 J= Jaune
 AR= Arrière
 AV= Avant
 G= Gauche
 D= Droit
 GR= Gros
 Pe= Petit

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-OBJETS

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

	<u>Série no.4</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1.	Cuillère	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
2.	Balle	1) V-AV-D (pe) 2) J-AR-G (gr)	_____	N 0
3.	Cube	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
4.	Camion	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
5.	Triangle	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
6.	Tasse	1) V-AR-G (gr) 2) J-AV-D (pe)	_____	N 0
7.	Baril	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
8.	Auto	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
9.	Cuillère	1) V-AR-D (gr) 2) J-AV-G (pe)	_____	N 0
10.	Baril	1) V-AV-G (pe) 2) J-AR-D (gr)	_____	N 0
11.	Balle	1) V-AV-G (gr) 2) J-AR-D (pe)	_____	N 0
12.	Cube	1) V-AR-D (pe) 2) J-AV-G (gr)	_____	N 0
13.	Triangle	1) V-AR-G (pe) 2) J-AV-D (gr)	_____	N 0

	<u>Série no. 4</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
14.	Camion	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
			_____	N 0
15.	Tasse	1) V-AR-G (pe) 2) J-AV-D (gr)	_____	N 0
			_____	N 0
16.	Auto	1) V-AV-D (gr) 2) J-AR-G (pe)	_____	N 0
			_____	N 0

Légende:

V= Vert
 J= Jaune
 AR= Arrière
 AV= Avant
 G= Gauche
 D= Droit
 GR= Gros
 Pe= Petit

RESULTATS:

STEREOPSIE GROSSIERE
PERCEPTION-CENTRALE-LUMIERE

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____
 AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____
 SEXE: _____ Q.I.: _____
 DISPARITE: _____

<u>Série no.1</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
1-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0 N 0
2-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0 N 0
3-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0 N 0
4-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0 N 0
5-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0 N 0
6-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0 N 0
7-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0 N 0
8-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0 N 0
9-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0 N 0
10-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0 N 0
11-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0 N 0
12-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0 N 0

<u>Série no. 1</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponses</u>
13-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
		_____	N 0
14-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
		_____	N 0
15-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
		_____	N 0
16-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
		_____	N 0

Légende:

V= Vert
 R= Rouge
 AR= Arrière
 AV= Avant
 G= Gauche
 D= Droit

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-LUMIERE

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

<u>Série no.2</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
1-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
2-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
3-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
4-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
5-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
6-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
7-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
8-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
9-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
10-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
11-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
12-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0

<u>Série no. 2</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
13-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
14-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
15-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
16-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-LUMIERE

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

<u>Série no. 3</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
1-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____ _____	N 0 N 0
2-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____ _____	N 0 N 0
3-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____ _____	N 0 N 0
4-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____ _____	N 0 N 0
5-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____ _____	N 0 N 0
6-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____ _____	N 0 N 0
7-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____ _____	N 0 N 0
8-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____ _____	N 0 N 0
9-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____ _____	N 0 N 0
10-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____ _____	N 0 N 0
11-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____ _____	N 0 N 0
12-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____ _____	N 0 N 0

<u>Série no. 3</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
13-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
14-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
15-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
16-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0

RESULTATS:

PERCEPTION CENTRALE-LUMIERE

NOM: _____
 AGE: _____
 SEXE: _____
 DISPARITE: _____

DATE DE NAISSANCE: _____
 DATE DE PASSATION: _____
 Q.I.: _____

<u>Série no. 4</u>	<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
1-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
2-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
3-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
4-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
5-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
6-	1) V-AR-G 2) R-AV-D	_____	N 0
7-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
8-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
9-	1) V-AV-D 2) R-AR-G	_____	N 0
10-	1) V-AV-G 2) R-AR-D	_____	N 0
11-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0
12-	1) V-AR-D 2) R-AV-G	_____	N 0

<u>Série no. 4</u>		<u>Position</u>	<u>Commentaires</u>	<u>Réponse</u>
13-	1)	V-AR-G	_____	N 0
	2)	R-AV-D	_____	N 0
14-	1)	V-AV-G	_____	N 0
	2)	R-AR-D	_____	N 0
15-	1)	V-AR-G	_____	N 0
	2)	R-AV-D	_____	N 0
16-	1)	V-AR-D	_____	N 0
	2)	R-AV-G	_____	N 0

RESULTATS:

Appendice B

Test anaglyptique T.N.O.

TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIE

(mesure d'acuité stéréoscopique)

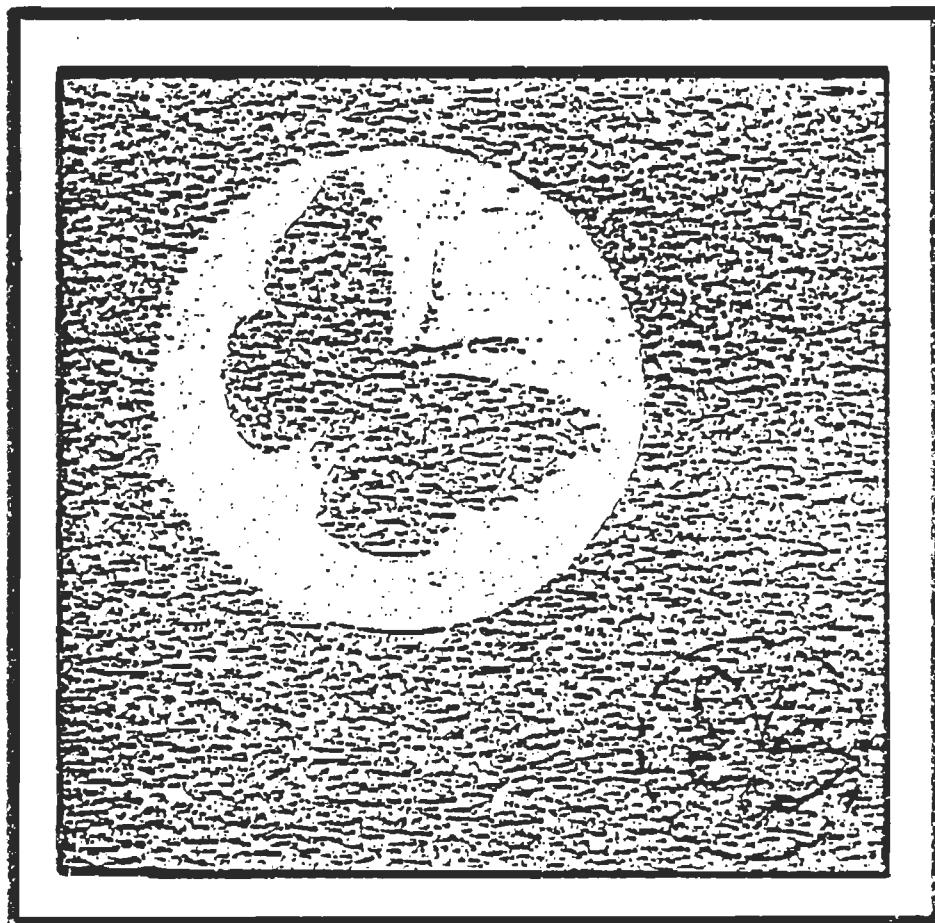
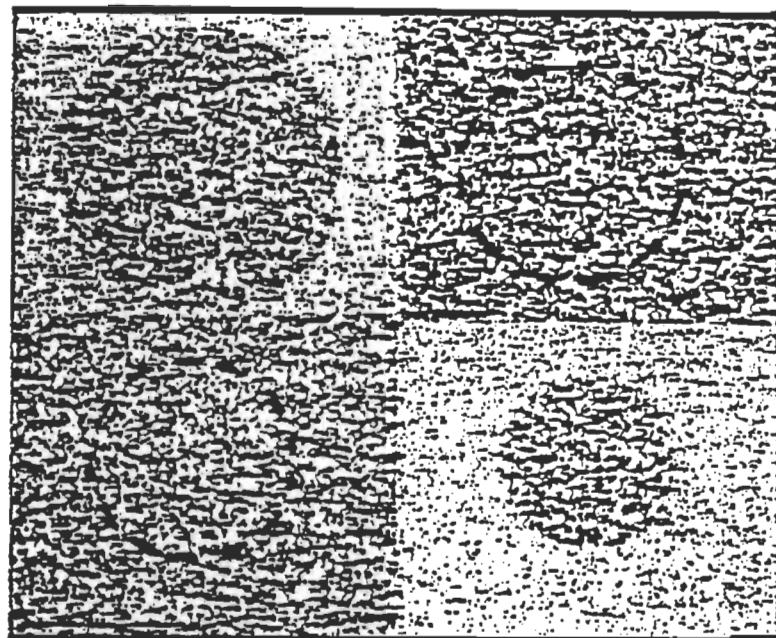


Planche I

Deux papillons sont présents sur cette planche, l'un est visible et l'autre pas. Avec les lunettes à prisme rouge à droite et vert à gauche, les deux papillons apparaissent de façon tridimensionnelle, l'un en haut à gauche, l'autre en bas à droite.

* Les pointillés, présents dans les figures de ce test, indiquent ce qui est vu seulement avec les lunettes.

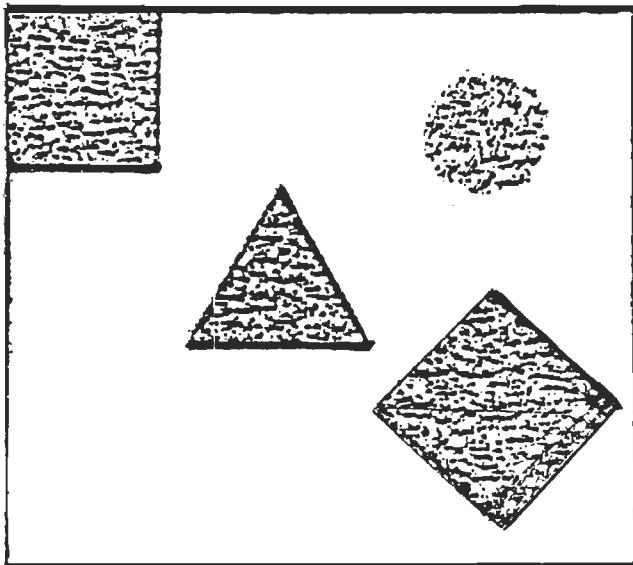
TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIEPlanche II

Deux cercles sont visibles (en haut à gauche et en bas à droite), tandis que les autres ne le sont pas (en bas à gauche et en haut à droite). Avec les lunettes, les quatre cercles de grandeur différente sont vus en trois dimensions.

* Les pointillés, présents dans les figures de ce test, indiquent ce qui est vu seulement avec les lunettes.

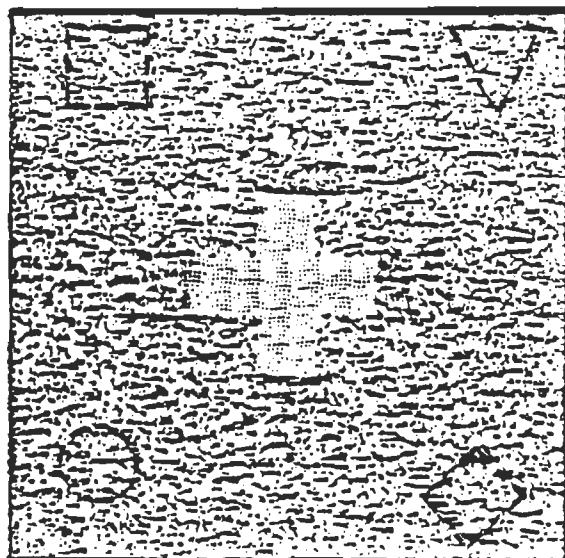
TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIEPlanche III

a)



Les formes géométriques, visibles en a) (carré, triangle, cercle, losange) sont invisibles en b).

b)

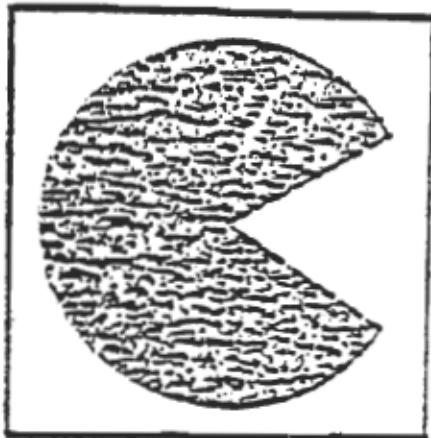


Autour de la croix (visible), au centre, les formes présentées en a) sont vues ici de façon stéréoscopique seulement avec les lunettes. La position de chaque forme est illustrée par les pointillés.

TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIEPlanche IV : Test de suppression

- À gauche, grand cercle.
- Au centre, petit cercle.
- A droite, cercle de même diamètre que celui de gauche.

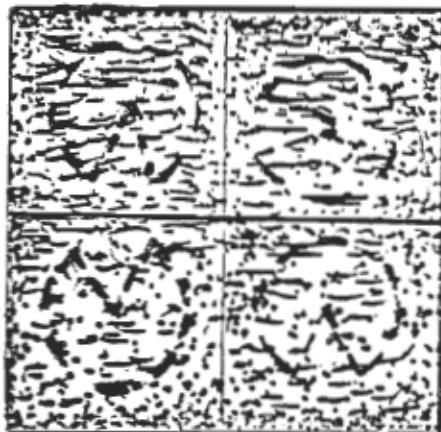
Les trois cercles sont visibles (sans lunettes).

TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIEPlanche V-A

Cercle apparent avec une portion manquante dans la partie droite. Ce cercle se retrouve dans une position identique dans deux portions seulement des planches V, VI et VII.

Planche V

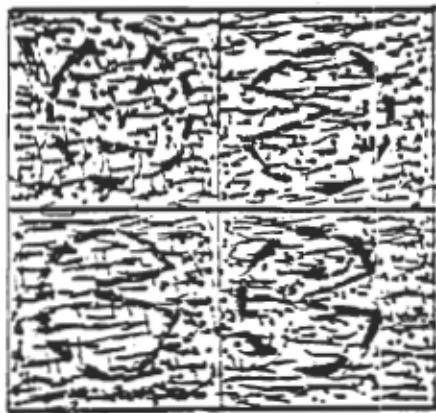
Aucun cercle apparent dans ces quatre carrés. Avec les lunettes, ils apparaissent tous en stéréoscopie et dans une position différente de la Figure 5 a).



Disparité de 480 sec. d'arc pour les deux cercles du haut.
Disparité de 240 sec. d'arc pour les deux cercles du bas.

TEST ANAGLYPTIQUE T.N.O. MODIFIEPlanche VI

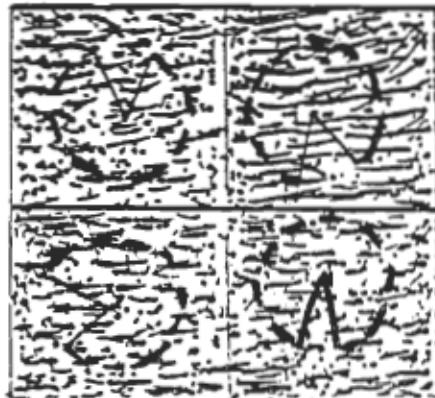
Aucun cercle apparent dans ces quatre carrés. Avec les lunettes, les cercles apparaissent en stéréoscopie et dans une position illustrée par les pointillés. Dans les portions du bas, les deux cercles sont dans une position identique à la Figure 5 a).



Disparité de 120 sec. d'arc en haut.
Disparité de 60 sec. d'arc en bas.

Planche VII

Aucun cercle apparent dans ces quatre carrés. Avec les lunettes, ils apparaissent tous en stéréoscopie dans une position différente de la Figure 5 a).



Disparité de 30 sec. d'arc en haut.
Disparité de 15 sec. d'arc en bas.

Remerciements

Dans le duo étudiant-directeur de thèse, il y a celui qui fait et celui qui permet de faire. L'auteure tient à remercier très sincèrement madame Maryse C. Lassonde, Ph.D., professeure à l'Université du Québec à Trois-Rivières, celle qui m'a permis de faire ce travail.

D'autres remerciements s'adressent également à tout le personnel du laboratoire de neuro-psychologie pour leur aimable collaboration, principalement à monsieur Louis-Marie Dionne pour son aide précieuse en informatique.

Références

- ANTONINI, A., BERLUCCHI, G., LEPORE, F. (1983). Physiological organization of callosal connections of a visual lateral suprasylvian cortical area in the cat. Journal of neurophysiology, 49, 902-921.
- BAHIL, T., STARK, L. (1979). Les mouvements saccadés de l'oeil, 17, 96-108
- BARLOW, H.B., BLAKEMORE, C., PETTIGREW, J.D. (1967). The neural mechanism of binocular depth discrimination. Journal of physiology (Lond.), 193, 327-342.
- BERLUCCHI, G. (1972). Anatomical and physiological aspects of visual functions of corpus callosum. Brain research, 37, 371-392.
- BERLUCCHI, G., GAZZANIGA, M.S., RIZZOLATTI, G. (1967). Microelectrode analysis of transfert of visual information by the corpus callosum. Archives italiennes de biologie, 105, 583-596.
- BERLUCCHI, G., RIZZOLATTI, G. (1968). Binocularly driven neurons in visual cortex of split-chiasm cats. Science, 159, 308-310.
- BIRCH, E.E., GWIAZDA, J., HELD, R. (1982). Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. Vision research, 22, 507-513.
- BISHOP, P.O. (1981). Adler's physiology of the eye. Clinical application, R.A. Moses. St-Louis: Mosby.
- BISHOP, P.O. (1973). Neurophysiology of binocular single vision and stereopsis, in R. Jung (ed.): Handbook of sensory physiology Vol. 7 (III-a): Central visual information (pp. 255-305). New York: Springer Verlag.
- BISHOP, P.O., HENRY, G.H. (1971). Spatial vision. Annual review of psychology, 22, 119-160.
- BLAKEMORE, C. (1969). Binocular depth discrimination and the nasotemporal division. Journal of physiology (Lond.), 205, 471-497.
- BLAKEMORE, C. (1970). Binocular depth perception and the optic chiasm. Vision research, 10, 43-47.
- BOGEN, J.E., GAZZANIGA, M.S., SPERRY, R.W. (1962). Some functional effects of sectioning the cerebral commissure in man. Proc. nat. acad. sci. U.S.A., 48, 1765-1719.

- BORING, E.G. (1942). Sensation and perception in the history of experimental psychology. New York: Appleton Century Crofts.
- BOUGH, E.W. (1970). Stereoscopic vision in the macaque monkey: a behavioural demonstration. Nature, 225, 42-44.
- BURROWS, G.H., HAYHOW, W.R. (1971). The organization of the thalamocortical visual pathways in the cat. An experimental degeneration study. Brain, behavior and evolution, 4, 220-272.
- CHOUDHURY, B.P., WHITTERIDGE, D., WILSON, M.E. (1965). The function of the cerebral connections of the visual cortex. Quarterly journal of experimental physiology, 50, 214-219.
- COWEY, A., PARKINSON, A.M., WARNICK, L. (1975). Global stereopsis in rhesus monkeys. Quarterly journal of experimental psychology, 27, 93-109.
- COWEY, A., PORTER, J. (1979). Brain damage and global stereopsis. Proceeding of Royal Society of London, 204, 399-407.
- CRAWFORD, M.L.J., SMITH III, E.L., HARWERTH, R.S., VON NOORDEN, G.K. (1984). Stereoblind monkeys have few binocular neurons. Investigative ophthalmology and visual science, 25,(7), 779-781.
- DELORME, A. (1982). Psychologie de la perception. Montréal: Editions études vivantes.
- DOTY, R.W., NEGRAO, N. (1973). Forebrain commissures and vision, in R. Jung (Ed.): Handbook of sensory physiology, Vol. 7 (III-b): Central visual information (pp. 543-582). New York: Springer-Verlag.
- ELBERGER, A.J. (1980). The effect of neonatal section of the corpus callosum on the development of depth perception in young cats. Vision research, 20, 177-187.
- ETTLINGER, G., BLAKEMORE, C.B., MILNER, A.D., WILSON, J. (1972). Agenesis of the corpus callosum: a behavioral investigation. Brain 95: 327-346
- FINKE, R. (1986). Imagerie mentale et système visuel. Pour la science, 103, 86-93.
- FOX, R., BLAKE, R. (1971). Stereoscopic vision in the cat. Nature, 233, 55-56.
- GAREY, L.J., JONES, E.G., POWELL, T.P. (1968). Interrelationships of striate and extrastriate cortex with the primary relay sites of the visual pathway. Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry, 31, 135-157.

- GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E., SPERRY, R.W. (1962). Some functional effects of sectionning the cerebral commissures in man. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 48, 1765-1769.
- GAZZANIGA, M.S. (1967). The split-brain in man. Scientific american, 217, 14-29.
- GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E., SPERRY, R.W. (1965). Observations on visual perception after disconnection of the cerebral hemispheres in man. Brain, 88, 221-326.
- GAZZANIGA, M.S. (1970). Le cerveau dédoublé. Coll. "Psychologie et sciences humaines". Bruxelles: Dessart et Mardaga.
- GILCHRIST, A. (1979). La perception des noirs et blancs d'une surface. Pour la sciences, 19, 85-97.
- GOGEL, W.C. (1978). Le principe de proximité dans la perception visuelle. Pour la sciences, 9, 49-58.
- GREGORY, R.L. (1972). Eye and brain. The psychology of seeing. New-York: McGraw-Hill.
- GUILLEMOT, J.P. (1979). Etude électrophysiologique des cellules corticales après section du chiasma optique: organisation des champs récepteurs et sensibilité à l'orientation. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- HENRY, G.H., BISHOP, P.O. (1971). Simple cells of the striate cortex, in W.D. Neff (Ed.): Contributions to sensory physiology, Vol. 5, pp. T-46. New-York: Academic Press.
- HERMAN, H., CIER, J.E. Précis de physiologie, MASSON, Paris, 1970.
- HOFFMAN, D. (1984). L'interprétation de ce qui est vu. Pour la science, 76, 12-19.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of physiology (Lond.), 160, 106-154.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. Journal of neurophysiology, 28, 229-289.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1969). Visual area of the lateral suprasylvian gyrus (Clare-Bishop area) of the cat. Journal of physiology (Lond.), 202, 251-260.

- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1967). Cortical and callosal connections concerned with the vertical meridian of visual fields in the cat. Journal of neurophysiology, 30, 1561-1573.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. Journal of physiology (Lond.), 195, 215-243.
- HUBEL, D.H., WIESEL, T.N. (1970). Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex. Nature, 225, 41-42.
- INNOCENTI, G.M. (1980). The primary visual pathway through the corpus callosum: Morphological and functional aspects in the cat. Archives italiennes de biologie, 118, 124-188.
- JONES, R. (1977). Anomalies of disparity in the human visual system. Journal of physiology (Lond.), 264, 621-640.
- JOSHUA, D.E., BISHOP, P.O. (1970). Binocular single vision and depth discrimination. Receptive field disparities for central and peripheral single units in cat striate cortex. Experimental brain research, 10, 389-416.
- JULESZ, B. (1967). Stereopsis based on vernier acuity cues alone. Science, 157, 563-565.
- JULESZ, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
- JULESZ, B. (1978). Global stereopsis: cooperative phenomena in stereoscopic depth perception, in, R. Held, H.W. Leibowitz, H.L. Teuber (Eds.): Handbook of sensory physiology, Vol. 8: Perception (pp. 215-256). New-York: Springer-Verlag.
- JULESZ, B., BREITMEYER, B., KROFT, W. (1976). Binocular-disparity-dependant upper-lower hemifield anisotropy and left-right hemifield isotropy as revealed by dynamic random-dot stereograms. Perception, 5, 129-141.
- JULESZ, B. (1964). Binocular depth perception without familiarity cues. Science, 145, 356-362.
- KAHIE, H., LEONHARDT, W., PLATZER, W. (1981). Système nerveux, dans C. Cabrol (Edition française): Anatomie. Paris: Flammarion-Médecine-Sciences.
- KAYE, M., MITCHELL, D.E., CYNADER, M. (1981). Selective loss of binocular depth perception after ablation of cat visual cortex. Nature, 293, 60-62.

- KAYE, M., MITCHELL, D.E., CYNADER, M. (1982). Depth perception, eye alignment and cortical ocular dominance of dark-reared cats. Developmental brain research, 2, 37-53.
- LASSONDE, M.C., BERNIER, S., OUELLET, J. (1983). Depth perception deficits in callosal agenesis. Society for neuroscience abstracts, 381.
- LASSONDE, M., PTITO, M., CALLILLE, S., et LEPORE, F. (1982). Interhemispheric transfer of sensory information in callosal agenesis. Neuroscience Letters supplement, 10, 281-282.
- LEHMKUHLE, S., FOX, R., BUSH, R.C. (1977). Global stereopsis in the cat. ARVO abstracts, 25-29 avril, Sarasota.
- LEPORE, F., GUILLEMOT, J.P. (1982). Visual receptive field properties of cells innervated through the corpus callosum in the cat. Experimental brain research, 46, 413-424.
- LEPORE, F., SAMSON, A., MOLOTHNIKOFF, S. (1983). Effects on binocular activation of cells in visual cortex of the cat following the transection of the optic tract. Experimental brain research, 50, 392-396.
- LEPORE, F., PTITO, M., LASSONDE, M. (1985). Stereoperception in cats following section of corpus callosum and/or the optic chiasma. Exp. Brain Res 61: 258-264.
- LEPORE, F., PTITO, M., GUILLEMOT, J.P. (1986). The role of the corpus callosum in midline fusion. Two hemispheres, on brain. Alain Liss, New York.
- MICELI, D., GAGNON, R., PTITO, M., REPERANT, J. (1983). Projections of the anterior ectosylvian visual area upon areas 17/18 and lateral suprasylvian in the cat as demonstrated by the retrograde multiplelabel fluorescence technique. Neuroscience abstracts, 6-11 novembre, Boston.
- MILNER, A.D., JEEVES, M.A. (1977). A view of Behavioral studies of agenesis of the corpus callosum. In Russel 15, Van Hof MW, Berlucchi, G. (Eds): "Structure and Function of Cerebral Commissures". Baltimore: University Park Press, P. 429-448.
- MINCIACCHI, D., ANTONINI, A. (1984). Binocularity in the visual cortex of the adult cat does not depend on the integrity of the corpus callosum. Behav Brain Res 13: 183-192.
- MITCHELL, D.E., BLAKEMORE, C. (1970). Binocular depth perception and the corpus callosum. Vision research, 10, 49-54.

- MYERS, R.E. (1962). Transmission of visual information within and between the hemispheres: A behavioral study, in V.B. Mountcastle (Ed.): Interhemispheric relations and cerebral dominance (pp. 51-73). Baltimore: John Hopkins Press.
- MYERS, R.E., SPERRY, R.W. (1953). Interocular transfer of a visual form discrimination in cats after section of the optic chiasma and corpus callosum. Anatomical record, 115, 351-352.
- MYERS, R.E., SPERRY, R.W. (1958). Interhemispheric communication through the corpus callosum. Arch. Neurol. Psychiatry 80: 298-303.
- NIKARA, T., BISHOP, P.O., PETTIGREW, J.D. (1968). Analysis of retinal correspondence by studying receptive fields of binocular single units in cat striate cortex. Experimental brain research, 6, 353-372.
- OGLE, K.N. (1955). Stereopsis and vertical disparity. Archives of ophthalmology, 53, 495-504.
- OGLE, K.N. (1950). Researches in binocular vision. Philadelphia: W.B. Saunders.
- OGLE, K.N. (1962). Spatial localization through binocular vision, in K. Davson (Ed.): The eye, Vol. 4: Visual optics and the optical space sense (pp. 271-324). New York: Academic Press.
- PACKWOOD, J., GORDON, B. (1975). Stereopsis in normal domestic cat, siamese cat and cat raised with alternating monocular occlusion. Journal of neurophysiology, 38, 1485-1499.
- PANDYA, D.N., KAROL, E.A., LELE, P. (1973). The distribution of the anterior commissure in the squirrel monkey. Brain research, 49, 177-180.
- PATURET, G. (1964). Traité d'anatomie humaine, IV. Système nerveux. Paris: Masson.
- PAYNE, B.R., ELBERGER, A.J., BERMAN, N., MURPHY, E.H. (1980). Binocularity in the cat visual cortex is reduced by sectioning the corpus callosum. Science, 207, 1097-1099.
- PETTIGREW, J.D., NIKARA, T., BISHOP, P.O. (1968a). Binocular interaction on single units in cat striate cortex: simultaneous stimulation by single moving slit with receptive fields in correspondence. Experimental brain research, 6, 391-410.
- PETTIGREW, J.D., NIKARA, T., BISHOP, P.O. (1968b). Responses to moving slits by single units in cat striate cortex. Experimental brain research, 6, 373-390.
- POGGIO, T. (1984). Vision humaine et vision par ordinateur. Pour la science, 80, 48-58.

- POGGIO, G.F., FISHER, B. (1977). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. Journal of neurophysiology, 40(6), 1392-1405.
- POGGIO, G.F., POGGIO, T. (1984). The analysis of stereopsis. Annual review of neuroscience, 7, 379-412.
- PTITO, M., LEPORE, F., LASSONDE, M., DUPLESSIS, H., MICELI, D. (1982). Effects of chiasmatectomy and commissurotomy on stereopsis in cats. ARVO, 22, 3, 125.
- PTITO, M., LEPORE, F. (1983). Interocular transfer in cats with early callosal transection. Nature 301: 513-515.
- PTITO, M., LEPORE, F., LASSONDE, M., DION, C., MICELI, D. (1986). Neural mechanisms for stereopsis in cats. Two hemispheres - one brain. Functions of Corpus Callosum. Alan R. Liss, New York.
- RICHARDS, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. Experimental brain research, 10, 380-388.
- RICHARDS, W. (1971). Anomalous stereoscopic depth perception. Journal of optical society of America, 61, 419-421.
- RISSE, G.L., LEDOUX, J., SPINGER, S.P., WILSON, D.H., GAZZANIGA, M.S. (1978). The anterior commissure in man. Functional variation in the multisensory system. Neuropsychologia, 16, 23-31.
- SAMSON, A. (1981). Contribution du corps calleux dans la réalisation de la binocularité au niveau de l'aire 17 du chat. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.
- SAMSON, A. (1984). Comparaison des mécanismes stéréoscopiques du chat normal et chiasmatomisé: Approche micro-electrophysiologique. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- SARAUX, H., BIAIS, B. (1983). Physiologie oculaire. Paris: Masson.
- SHINKMAN, P.G., TIMNEY, B., ISLEY, M.R., ROGERS, D.C. (1984). Binocular depth perception in cats reared with interocular torsional disparity. Society for neuroscience abstracts, Los Angeles.
- SIEGEL, R.K. (1977). Les hallucinations. Pour la science, 2, 71-80.
- SPRAGUE, J.M., BERLUCCI, G., RIZZOLATTI, G. (1973). The role of superior colliculus and pretectum in vision and visually guided behavior, in R. Jung (Ed.): Handbook of sensory physiology, Vol. 7 (III-b): Central visual information. New-York: Springer-Verlag.
- TIMNEY, B. (1981). Development of binocular depth perception in kittens. Investigative ophthalmology and visual science, 21, 493-496.

- TIMNEY, B. (1983). The effects of early and late monocular deprivation on binocular depth perception in cats. Developmental brain research, 7, 235-243.
- WALK, D.R., GIBSON, E. (1961). A comparative and analytical study of visual depth perception. Psychological monographs, vol. 15, 15, 1-43.
- WESTHEIMER, G., MICHELL, D.E. (1969). The sensory stimulus for disjunctive eye movements. Vision research, 9, 749-755.
- WESTHEIMER, G., TANZMAN, I.J. (1956). Qualitative depth localization with diplopic images. Journal of optical society of America, 46, 116-117.
- WILSON, M.E., CRAGG, B.G. (1967). Projections from lateral geniculate nucleus in the cat and monkey. Journal of anatomy (Lond.), 101, 677-692.