

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN PSYCHOLOGIE

PAR

SYLVAIN BERNIER

L'EVALUATION DE LA PERCEPTION DE LA PROFONDEUR
CHEZ LES SUJETS AGENESIQUES DU CORPS CALLEUX

SEPTEMBRE 1982

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

Introduction.....	1
Chapitre premier - Contexte théorique et expérimental..	4
Définition anatomique du corps calleux.....	5
Agénésie du corps calleux.....	8
Rôle du corps calleux.....	13
Perception de la profondeur.....	17
Chapitre II - Méthodologie.....	23
Sujets.....	24
Groupe contrôle.....	29
Tests préliminaires.....	30
Appareils et procédures.....	32
Chapitre III - Présentation des résultats.....	43
Résultats aux tests préliminaires.....	44
Résultats de l'évaluation de la perception de la profondeur.....	49
Chapitre IV - Interprétation des résultats et discussion.....	58
Interprétation des résultats.....	59
Les différents sous-tests.....	59
Discussion.....	63

Conclusion.....	69
Appendice A - Liste et ordre de présentation des stimuli.....	72
Appendice B - Test du "Chi carré" sur les résultats du groupe expérimental.....	81
Appendice C - Résultats bruts aux quatre sous-tests...	84
Remerciements.....	86
Références.....	87

Sommaire

Depuis plusieurs années, de nombreuses études se sont intéressées à la spécialisation hémisphérique de diverses fonctions cérébrales chez l'individu normal. Certaines de ces recherches ont par ailleurs fait naître des questions quant au rôle joué par le corps calleux comme agent de transmission interhémisphérique. Ainsi, les fonctions de la structure callosale ont commencé à être étudiées à partir de patients dont le corps calleux a été sectionné chirurgicalement (callosotomie, commissurotomie) ou de sujets atteints d'une absence congénitale du corps calleux (agénésie calleuse). Cependant, peu d'études ont porté sur la perception de la profondeur chez l'agénésique du corps calleux et ce, bien que plusieurs études aient permis de conclure à son importance dans l'analyse binoculaire de l'information. La présente recherche a donc pour but d'évaluer la perception binoculaire de la profondeur chez six sujets acalleux, pairés à six sujets de même âge et offrant un rendement intellectuel semblable aux sujets expérimentaux. L'expérimentation est subdivisée en quatre sous-tests permettant d'effectuer une évaluation de la profondeur à travers tout le champ visuel. Les stimuli sont illuminés brièvement à l'aide d'un appareil stroboscopique et sont composés d'objets tridimensionnels.

Nos résultats démontrent une performance significativement inférieure des sujets expérimentaux par rapport aux sujets contrôles. Seul le sous-test présentant les stimuli strictement en champ central est réussi par les sujets acalléux. Dans toutes les autres conditions expérimentales, ces mêmes sujets se révèlent inaptes à évaluer la profondeur. Cependant, ils performant aussi efficacement que les sujets normaux aux stéréogrammes de Julesz. De plus, aucune spécialisation hémisphérique n'a été observée chez les deux groupes de sujets soumis à l'expérimentation. Cette recherche indique donc que les patients atteints d'agénésie du corps calleux ont un potentiel d'analyse de perception de la profondeur très diminué comparativement aux sujets normaux.

Les hypothèses actuelles permettant d'expliquer de tels résultats sont la réduction majeure du potentiel de réponses des cellules binoculaires en l'absence du corps calleux et la différence entre les mécanismes de stéréopsie globale et de stéréopsie fine. Cette réduction de potentiel des cellules binoculaires atteindra davantage la stéréopsie globale qui, chez les sujets agénésiques du corps calleux, est presque entièrement abolie. Par contre, la stéréopsie fine est intacte, le chiasma optique étant présent chez ces sujets agénésiques. Les sujets atteints d'une absence congénitale du corps calleux doivent donc, dans les situations coutumières, recourir

davantage aux indices monoculaires et à la stéréopsie fine pour évaluer la perception de la profondeur.

Introduction

De nombreuses recherches au cours des dernières années se sont intéressées au rôle joué par chaque hémisphère chez l'individu normal. C'est ainsi que des fonctions spécifiques ont pu être attribuées à chaque hémisphère (Gazzaniga, 1970; Kimura, 1966; Sperry, 1958, 1964; Sperry et al., 1964, 1967, 1969). Déjà en 1865, Broca avait pu déterminer que l'hémisphère gauche est dominant quant au langage. Par la suite, les études se sont spécifiées davantage et ont concentré leurs champs d'analyse à plusieurs fonctions cérébrales. C'est ainsi que Kimura (1967) conclut, suite à des études dichotiques, que la reconnaissance verbale est une tâche effectuée plus facilement par l'hémisphère gauche. L'hémisphère droit, pour sa part, domine dans les activités spatiales dont la perception de la profondeur (Durnford et Kimura, 1971).

L'apport des études portant sur la section thérapeutique du corps calleux (commissurotomie et callosotomie) chez les sujets épileptiques a permis de confirmer les fonctions respectives de chaque hémisphère tout en présentant un nouveau champ d'intérêt, les effets de l'absence de la structure callosale. Entre autres, certains auteurs font mention d'une diminution significative de l'intégration de la perception

tridimensionnelle dans le cas de section commissurale (Blakemore, 1969; Mitchell et Blakemore, 1970; Payne et al., 1980; Sperry, 1964).

Par ailleurs, les résultats des études portant sur les patients souffrant d'une absence congénitale du corps calleux sont beaucoup moins évidents et laissent souvent les observateurs dans l'incertitude (Ettlinger et al., 1974; Gazzaniga, 1970; Saul et Sperry, 1968). Ainsi, certaines recherches semblent indiquer que selon l'âge des sujets agénésiques ou selon la localisation des stimuli à l'intérieur du champ visuel, l'efficacité de l'analyse de la profondeur est modifiée (Jeeves, 1965; Ettlinger et al., 1974; Rogers et Mackay, 1977, cité dans Ouellet 1981). De plus, le rendement stéréopsique des sujets acalleux dans certaines parties du champ visuel telle que la périphérie, n'ont encore jamais été étudiées.

Cette recherche est destinée à évaluer la perception de la profondeur à tous les niveaux du champ visuel chez les agénésiques du corps calleux. Elle est destinée, en même temps, à élucider davantage le mécanisme global d'analyse de la profondeur en étudiant à la fois les mécanismes de la stéréopsie globale et ceux de la stéréopsie fine.

Chapitre premier

Contexte théorique et expérimental

Définition anatomique du corps calleux

Le corps calleux, la plus vaste commissure cérébrale, constitue la voie de communication ou commissure principale entre les deux néo-cortex (Auroux, 1955; Barr, 1972; Gazzaniga, 1967; Sperry et al., 1969). Cette commissure se situe au fond de la scissure interhémisphérique, sur le bord inférieur de la faux. Sur une coupe sagittale, le corps calleux présente un aspect arciforme. Il est composé de plusieurs fibres (10^6) dont le diamètre est d'environ 10 M chacune (Brion et Jedynak, 1975). Ces fibres, myélinisées ou non, appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires se retrouvent principalement au niveau des couches corticales infra-granuleuses. La longueur approximative de cette structure interhémisphérique est de 8 cm de la partie rostrale à la partie caudale, alors que son épaisseur varie entre 0.5 et 1.5 cm. Cependant, le corps calleux n'est pas la seule voie de communication interhémisphérique; d'autres commissures blanches, soit la commissure antérieure, la postérieure et l'hippocampienne jouent un rôle semblable.

Le corps calleux est composé de quatre parties: le splenium, le tronc, le genou et le rostrum. Le splenium,

surplombant les tubercules quadrijumeaux est la partie postérieure de cette commissure. Son épaisseur n'est pas très prononcée (environ 0.5 mm) et il contient les fibres de liaison des lobes occipitaux. Le tronc, pour sa part, contient les fibres émanant des régions frontales, temporales et pariétales. Son épaisseur est semblable à celle du splenium. Par contre, le genou, qui contient les fibres interhémisphériques qui unissent les deux lobes frontaux, est la partie la plus épaisse du corps calleux. Celui-ci se situe juste en avant et au-dessus du rostrum. La quatrième partie, le rostrum, se retrouve au-dessus de la matière grise septale et les fibres qu'elle contient sont également d'origine incertaine.

C'est donc par le corps calleux que doit passer la majeure partie des fibres interhémisphériques. En fait, la principale exception est la commissure blanche antérieure qui, elle, reçoit les projections des formations amygdalo-hypocampiques des circonvolutions temporales moyennes et inférieures tout en assurant la connexion inter néo-corticale des aires inférieures du cortex associatif visuel (Karol et Pandya, 1971).

Au niveau embryologique, chez l'humain, le septum pellucidum ainsi que les commissures interhémisphériques, à l'exception de la commissure postérieure, se développent tous à partir de la plaque commissurale d'Hochstetter (Harner, 1977).

Même si cette structure apparaît possiblement pendant les 14 premiers jours de vie foetale, ce n'est qu'au cours de la 11e ou 12e semaine qu'il sera possible de repérer la séparation dorsale du corps calleux. A ce stade, approximativement un million d'axones reliant les deux néo-cortex font partie de cette structure. Déjà il est possible de distinguer les fibres de la commissure antérieure faisant le pont entre les cortex pyriformes et les bulbes olfactifs. De plus, au-dessus du récessus neuroporique, il est possible d'apercevoir la commissure hippocampienne qui, elle, relie les deux hippocampes.

De la 12e à la 22e semaine approximativement, on constate que les fibres de la structure callosale se développent dans un axe antéro-postérieur prenant origine au niveau du rostrum pour se terminer dans le splenium. Au cours du sixième mois, ces fibres se joignent à la surface dorsale de la commissure hippocampienne. A ce stade, le corps calleux a atteint sa forme définitive, étant donné que pendant les trois derniers mois le fornix a pris une configuration rétroflexe, alors que le septum pellucidum s'est séparé de la structure originale se rangeant entre le fornix et le corps calleux (Harner, 1977). C'est la commissure antérieure qui emprunte le site de la plaque commissurale primitive.

Après six mois de vie foetale, le nombre de fibres (25 millions) du corps calleux atteint sa densité maximum,

soit de 65 fibres par 100 μ sq. A partir de ce moment, cette dernière structure conserve sa forme, croissant progressivement en proportion avec l'évolution physique du néo-cortex. Une vingtaine de semaines après la parturition, il contient 144 millions d'axones. A ce stade, la densité des fibres a déjà diminué à cause de la myélinisation qui, elle, débute au cours des deux derniers mois de vie prénatale. Cette myélinisation touche d'abord les fibres de la surface dorsale de la commissure pour ensuite se propager au reste de la structure. Ce processus atteint son sommet entre la dixième et la douzième année de vie humaine (Yacovlev et Lecours, 1967).

Agénésie du corps calleux

La période pendant laquelle se développent les commissures interhémisphériques est relativement longue. Selon le moment où il y a atteinte à l'évolution normale de ces structures cérébrales, différents types de malformations embryologiques peuvent faire leur apparition. Brion et Jedynak (1975) ont ainsi délimité divers stades de développement en rapport avec certaines malformations commissurales: à la troisième semaine de vie foetale, si un arrêt de croissance survient au niveau de la plaque commissurale d'Hochstetter, il en résulte une absence complète des voies de communication interhémisphérique et la formation d'un système ventriculaire

unique. Si la tare se révèle pendant la quatrième semaine, les deux néo-cortex seront séparés, mais il y aura absence du corps calleux et de la commissure antérieure. Si la croissance est interrompue pendant le quatrième mois, la formation de la commissure antérieure sera complétée alors que le corps calleux sera toujours absent (agénésie du corps calleux). Par ailleurs, une anomalie développementale survenant après le quatrième mois de grossesse engendre une absence de la partie postérieure du corps calleux (dysgénésie du corps calleux). Loeser et Alvord (1968) font remarquer de plus que certaines anomalies du corps calleux sont moins fréquentes que d'autres. Ainsi, l'agénésie complète n'est pas souvent accompagnée d'une absence des commissures antérieure et hippocampale. C'est donc dire qu'il est possible de croire que certaines périodes de croissance du fœtus peuvent être plus vulnérables à des carences développementales.

L'agénésie du corps calleux peut donc être subdivisée en deux types distincts de malformations cérébrales, soit l'absence totale de la structure impliquée ou l'absence d'une partie seulement du corps calleux, ordinairement le tronc et/ou le splenium (Rohmer et al., 1959). L'absence de cette structure engendre nécessairement une disconnexion totale ou partielle des deux hémisphères. De plus, elle implique des modifications au niveau de certaines autres structures cérébrales

se traduisant généralement par la dilatation dorsale du troisième ventricule, par une séparation plus marquée des ventricules latéraux et par la dilatation des cornes postérieures de ces mêmes ventricules (Grogono, 1968; Loeser et Alvord, 1968). Ces caractéristiques anatomiques sont observables à l'aide d'un pneumoencéphalogramme ou d'une tomographie.

L'agénésie du corps calleux est la conséquence d'un défaut de développement au niveau de la structure télencéphalique moyenne. La migration des fibres commissurales serait empêchée par des facteurs développementaux ou acquis, engendrant l'agénésie. Ces fibres se groupent alors en un faisceau antéro-postérieur paramédian au lieu de franchir la ligne médiane (Loeser et Alvord, 1968; Milner et Jeeves, 1979). Pour ce qui est de la dysgénésie callosale (absence partielle), il semblerait qu'elle puisse être attribuable à des facteurs intrautérins comme des épisodes d'anoxie, d'inflammation ou de troubles d'irrigation sanguine de l'artère cérébrale antérieure. D'autre part, quels que soient les facteurs engendrant l'agénésie, il est possible de les regrouper sous un pattern unique qui consiste en un désordre transmis sur le chromosome X par gène récessif. En ce sens, plusieurs auteurs ont rapporté une incidence familiale de l'agénésie du corps calleux (Anderman et al., 1979; Menkes et al., 1964; Naiman et Fraser, 1955). Par contre, Wahlsten (en préparation) à la

suite d'études récentes conduites chez la souris, démontre que l'environnement joue un rôle important quant à la fréquence de cette anomalie. Par exemple, la valeur nutritive de l'eau et de l'alimentation semble déterminante quant à la fréquence de l'agénésie du corps calleux chez la même souche de souris.

Actuellement, au niveau étiologique, il est encore impossible de vraiment cerner les causes précises de l'agénésie calleuse chez l'homme, malgré certaines observations chez l'animal chez qui cette anomalie peut être produite par rayons-X, par injection de treypan bleu ou par une déficience maternelle en riboflavine (Lassonde, en préparation). En ce qui concerne les répartitions géographiques, l'incidence plus marquée dans certaines régions, notamment le Saguenay Lac-St-Jean au Québec, semble indiquer que les facteurs génétiques pouvant être à l'origine de cette anomalie sont la conséquence du taux élevé des mariages consanguins (Anderman et al., 1979).

Pour ce qui est de la symptomatologie, là encore beaucoup d'interrogations ne sont pas résolues. L'agénésie accompagne parfois la trisomie 13 et 15, plus rarement la trisomie 18 ou d'autres anomalies chromosomiques. Elle est observée plus fréquemment avec une arhinencéphalie ou avec des anomalies importantes telles l'hémiatrophie cérébrale, la myélo-méningite, l'épilepsie, l'hydrocéphalie et la microcéphalie.

Par contre, même si certains chercheurs (Alpers, 1936; Cramer, 1936; Raymond et al., 1906) ont essayé de décrire un syndrome spécifique pour l'agénésie, aujourd'hui la position qu'empruntent Saul et Sperry (1968) semble la plus répandue. Ils décrivent l'agénésie calleuse comme étant très souvent asymptomatique et, selon eux, seules certaines évaluations spécialisées peuvent déjouer les mécanismes appris de ces cerveaux anormaux. Les troubles sensitifs ou moteurs qu'ont les agénésiques doivent être le plus souvent associés aux autres malformations qui accompagnent l'absence du corps calleux (Milner et Jeeves, 1979). De plus, le fait que l'agénésie ne soit pas souvent associée à de graves anomalies cérébrales (Bossy, 1970; Bryden et Zuriff, 1970; Grogono, 1968; Saul et Sperry, 1968; Solursh et al., 1965) et que, sans les autres anomalies, il soit extrêmement difficile de dépister l'agénésie du corps calleux, l'investigation de l'agénésie calleuse chez les cas purs est très limitée. Néanmoins, un grand nombre d'auteurs affirment que cette anomalie est accompagnée régulièrement d'une déficience intellectuelle plus ou moins légère (Anderman et al., 1975; Bossy, 1970; Ettlinger et al., 1974; Feriss et Dorsen, 1975; Lehmann et Lampe, 1970; Russel et Reitan, 1955; Shapiro et Cohen, 1973).

Rôle du corps calleux

Bien que certains cas d'agénésie du corps calleux soient asymptomatiques, de nombreuses études portant sur la section chirurgicale de cette structure ont pu démontrer son importance. Ainsi, les théories décrivant le rôle du corps calleux sont basées sur les résultats d'études portant sur la section du chiasma optique et/ou du corps calleux chez l'animal (Myers, 1956, 1959; Myers et Sperry, 1958) et sur la section thérapeutique des commissures chez l'humain (Gazzaniga et al., 1962; Sperry, 1968a, 1968b). Tous en viennent à indiquer l'importance du corps calleux comme agent d'intégration interhémisphérique par rapport à un grand nombre de fonctions, tant linguistiques que visuelles. En fait, le corps calleux est considéré comme la structure principale qui permet aux deux hémisphères cérébraux de communiquer entre eux. C'est lui qui rend possible le synchronisme des mouvements volontaires des membres. De plus, on lui accorde un rôle inhibiteur sur les fonctions linguistiques de l'hémisphère droit et sur le mécanisme de mémoire à court terme de chaque hémisphère (Gazzaniga, 1967, 1970). Bremer et al. (1956) attribuent au corps calleux un rôle tonique sur l'activité du néo-cortex. Ces derniers estiment que les tâches de cette commissure sont associées aux activités les plus élaborées du cerveau.

Pour ce qui est des études portant sur l'absence congénitale du corps calleux, elles sont moins nombreuses et les résultats ne coïncident pas toujours avec les cas de commissurotomie (Chiarello, 1980). Ces dernières permettent de démontrer en partie la grande capacité d'adaptation que possède le cerveau humain.

Cependant, ces recherches sur le rôle du corps calleux ont souvent permis d'étudier parallèlement la spécialisation hémisphérique. Celles-ci ont tenté de localiser le plus précisément possible certaines fonctions particulières de l'activité mentale humaine à l'intérieur de l'un des deux hémisphères cérébraux, tout en saisissant mieux le rôle de la commissure principale qui les unit.

Ainsi, des études ont démontré une dominance significative de l'hémisphère gauche en ce qui concerne la plupart des activités linguistiques (Broca, 1865; Gazzaniga et Sperry, 1967; Kimura, 1967; Rieber, 1976). Selon eux, cet hémisphère performe davantage lors de tâches verbales contrôlant la pensée logique, abstraite et analytique. De plus, ce même hémisphère semble posséder plus de capacités que son homologue à analyser les mots et à décoder les syllabes sans signification en ce qui concerne le domaine auditif (Kimura, 1973). Toujours selon Kimura (1973), au niveau visuel, les lettres

et les mots sont plus facilement reconnus lorsqu'ils sont présentés dans le champ visuel droit. Par contre, ce même auteur crédite l'hémisphère droit, au niveau auditif, d'une performance dominante lorsqu'il s'agit de reconnaître une mélodie fredonnée et des sons humains (crier, rire, tousser). Il en va de même pour le domaine visuel lorsque la tâche consiste à localiser un point sur une surface bi-dimensionnelle, d'énumérer des points et des formes, de paier des lignes inclinées ou d'effectuer une tâche de perception de la profondeur (Kimura, 1973).

Gazzaniga (1970), pour sa part, attribue à l'hémisphère droit la fonction de préciser et de nuancer les jugements faits par l'autre hémisphère. Ainsi, l'hémisphère droit garantirait le temps de réverbération nécessaire pour permettre au système de vérifier la proposition qui a déjà pris forme dans l'hémisphère gauche et d'y apporter des modifications. D'ailleurs, un certain nombre d'études ont permis d'édifier cette théorie (Day, 1969; Halle et al., 1968; MacKay, 1966).

Parallèlement à cette hypothèse de latéralisation des fonctions chez l'adulte normal, s'est édifiée une hypothèse de bilatéralisation de ces mêmes fonctions chez les sujets acallaux. Cet équilibre des capacités respectives de chaque hémisphère serait induit par une réorganisation neurale des

mécanismes d'analyse comparable au pattern de performance des jeunes enfants (Dennis, 1976). Beaucoup de chercheurs ont appuyé cette hypothèse de réorganisation des fonctions dans les modes somato-sensoriels, auditifs et moteurs suite à des activités de lecture, d'écriture et de dessin effectuées à partir de n'importe quelle main (Chiarello, 1980; Ferriss et Dorsen, 1975; Gazzaniga, 1970; Sperry et al., 1969). D'autres études, se basant sur la présentation tachistoscopique de stimuli verbaux dans un des hémichamps visuels (Ettlinger et al., 1972) ou axées sur la comparaison des temps de réaction entre les agénésiques et les sujets normaux (Lassonde et al., 1980; Sauweirn, 1978), confirment cette hypothèse de bilatéralisation. Toutefois, quelques études portant sur une tâche tachistoscopique (Lassonde, en préparation) et sur l'écoute dichotique (Lassonde et al., 1980) contredisent ces résultats. Dans ces dernières études, une supériorité de l'hémisphère droit tant dans les tâches verbales que non-verbales, a pu être notée. Même si les résultats à ce niveau sont contradictoires, il est facile de supposer que l'absence de la structure callosale a des répercussions d'envergure au sein de l'organisation neurale. Cependant, le corps calleux n'a pas pour fonction unique le transfert d'information ou la mise en place de spécialisation hémisphérique. En effet, des recherches plus récentes (Blakemore, 1969; Payne et al.,

1980) ont mis le corps calleux directement en cause quant à l'efficacité du mécanisme de perception de la profondeur. Cet aspect sera traité dans la section suivante du mémoire.

Perception de la profondeur

Deux types de perception, interhémisphérique et intrahémisphérique, sont impliqués dans l'analyse de la profondeur (Blakemore, 1969; Durnford et Kimura, 1971; Gazzaniga, 1970; Luthe, 1976). La perception interhémisphérique implique un échange d'information visuelle venant de la région occipitale des deux hémisphères par les fibres de connections interhémisphériques qui font partie du corps calleux (Luthe, 1976).

Par contre, la perception intrahémisphérique n'implique pas ce type d'échange, l'ensemble de l'information nécessaire à une analyse adéquate se retrouvant en totalité au niveau d'au moins une région occipitale d'un hémisphère cérébral.

Luthe (1976) démontre que la perception d'un stimulus situé dans la moitié droite du champ visuel est envoyé vers la région occipitale de l'hémisphère gauche. L'information emprunte la voie controlatérale de l'oeil droit et la voie ipsilatérale de l'oeil gauche (voir figure 1). Le contraire s'applique si le stimulus se situe au niveau du champ

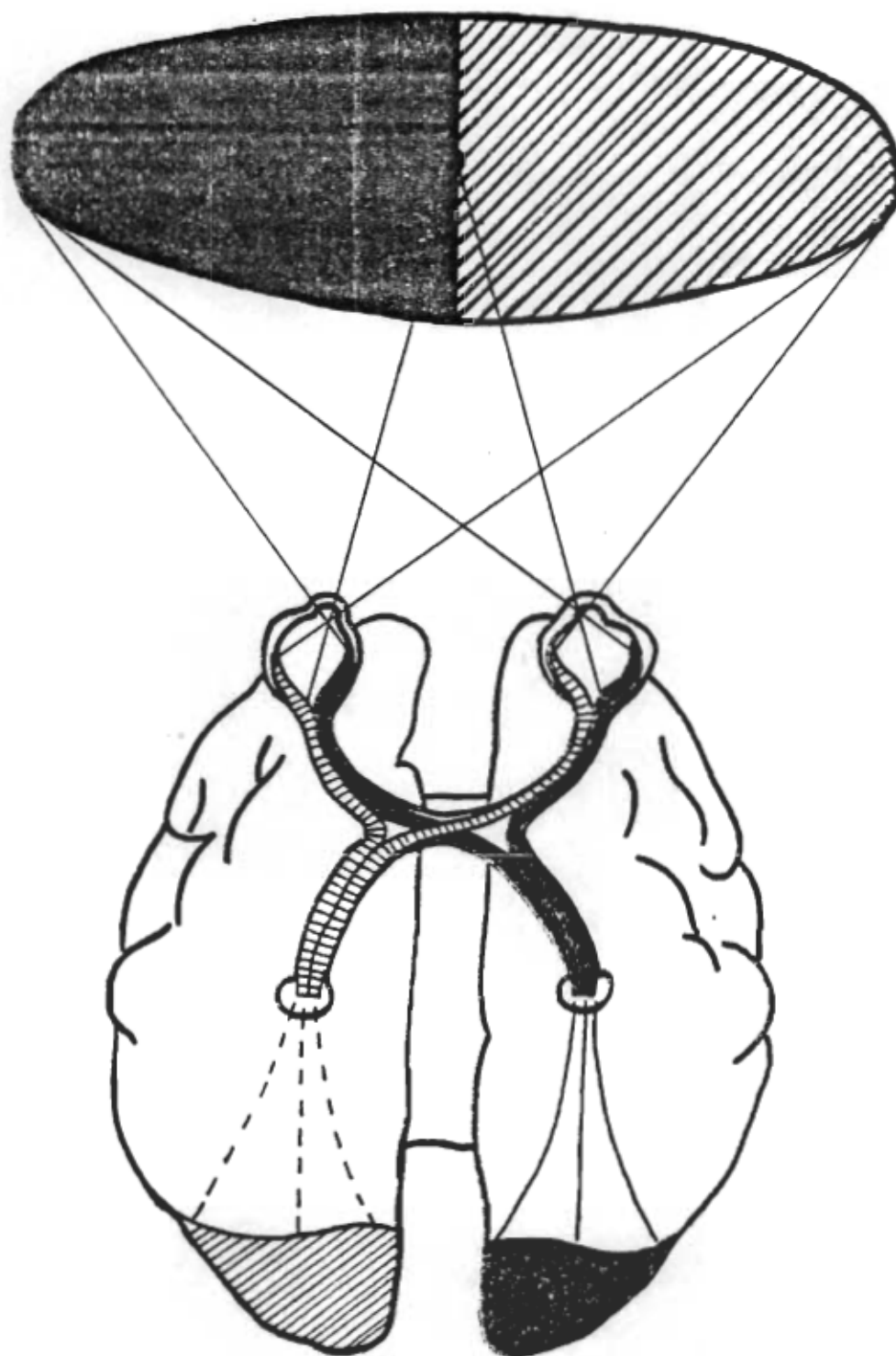


Fig. 1 - La perception visuelle (adaptation d'après Luthe 1976).

visuel périphérique gauche. Par contre, un objet qui est perçu au niveau du champ visuel nasal (central) est, pour sa part, envoyé dans les régions occipitales des deux hémisphères. A ce moment, l'information suit la voie ipsilatérale des deux yeux. En ce sens, certaines limites approximatives ont été fixées pour délimiter les champs visuels nasal et périphérique. Durnford et Kimura (1971) placent leurs stimuli à un angle supérieur à 3.5° pour être certains de travailler au niveau du champ périphérique. Blakemore (1969), pour sa part, indique qu'un angle inférieur à 1.5° se retrouve dans le champ visuel nasal.

Callosotomie et commissurotomie

Les premières études concernant la perception de la profondeur ont porté sur des sujets ayant subi une callosotomie (section thérapeutique du corps calleux) ou une commissurotomie (section thérapeutique de l'ensemble des commissures interhémisphériques) (Bogen et al., 1962; Bridgman et Smith, 1945; Wageningen et Herren, 1940). Celles-ci n'ont pu mettre en évidence l'existence de déficit de la perception de la profondeur pour un sujet chez qui le corps calleux a été sectionné. Quelques années plus tard, d'autres études font mention d'une diminution significative de l'efficacité de la discrimination de la profondeur lorsque le sujet est privé de la structure

callosale. Dès 1969, Blakemore constate que si les stimuli (2) à partir desquels le sujet doit discriminer la profondeur sont près du point de fixation dans le champ visuel, la tâche sera échouée. Celui-ci plaçait ses deux stimuli en vision centrale, l'un en avant du point de fixation et l'autre en arrière, la distance entre les deux points pouvant varier.

Une autre étude (Mitchell et Blakemore, 1970), portant sur des sujets commissurotomisés, en arrive aux mêmes conclusions: réduction majeure lors de l'analyse de la profondeur en stéréopsie centrale alors qu'aucun déficit n'est remarqué pour la vision périphérique.

Parallèlement à ces résultats obtenus chez l'homme, Elberger (1980), dans une étude portant sur l'effet de la section du corps calleux avant la parturition chez des chatons, note une diminution importante de leur vision binoculaire, donc de perception de profondeur. L'expérimentation se sert de l'appareil visuel de précipice et elle a servi à démontrer qu'en l'absence de la partie postérieure du corps calleux, le jeune chat apprenait plus difficilement et moins efficacement à discriminer la perception de la profondeur. Il semble donc assez évident qu'il existe un déficit de la perception de la profondeur suite à une callosotomie ou une commissurotomie.

Agénésie du corps calleux

C'est Jeeves (1965) qui le premier complète une étude sur la perception de la profondeur à partir d'un cas d'agénésie du corps calleux. Le sujet à neuf ans et on remarque chez lui des difficultés particulières à évaluer les distances des objets qu'il perçoit. Un handicap se révèle aussi lorsqu'il doit répondre efficacement à une tâche faisant appel à la vision stéréoscopique tel que mesurée par un co-ordinascope. Par contre, les adultes souffrant eux aussi d'une absence congénitale du corps calleux et testés lors de cette expérimentation, ne démontrent pour leur part aucun déficit au niveau de la perception tridimensionnelle. Plus tard, Ettlinger et al. (1974) observent les mêmes caractéristiques chez le même type de patients. Rogers et MacKay (1977: voir Ouellet, 1981), utilisant une méthode semblable à celle de Mitchell et Blakemore (1970) chez un patient agénésiques asymptomatique, ont par ailleurs noté une faiblesse significative au niveau du champ visuel central, alors que l'individu performe bien si les stimuli sont placés plus en périphérie.

De plus, une étude récente (Ouellet, 1981) s'est intéressée à la perception intrahémisphérique et interhémisphérique, mais dans deux conditions bien particulières. La perception intrahémisphérique était testée à partir de l'oculokinésimètre et les stimuli se situaient seulement à l'intérieur

du champ visuel central. La perception interhémisphérique, pour sa part, était testée grâce à un stroboscope et les stimuli se situaient en vision périphérique (3.5° d'angle) de chaque côté du point de fixation. Cette dernière étude démontre ainsi que les sujets agnésiques fournissent des réponses aléatoires lors de la tâche interhémisphérique et une réduction d'efficacité moins significative à la tâche intrahémisphérique.

Or, face à ces résultats contradictoires, la présente étude désire, pour sa part, effectuer une évaluation de la perception de la profondeur à divers niveaux du champ visuel de ces sujets agnésiques. Elle espère ainsi apporter un éclairage supplémentaire sur l'efficacité et les mécanismes qui activent l'analyse de la perception de la profondeur chez les patients atteints d'une absence congénitale du corps calleux.

L'hypothèse formulée suite aux informations recueillies antérieurement et soutenues par la plupart de celles-ci (Mitchell et Blakemore, 1970; Rogers et Mackay, 1977, voir Ouellet, 1981) est: que la perception binoculaire de la profondeur est plus affectée en vision centrale qu'en vision périphérique chez les sujets agnésiques du corps calleux.

Chapitre II
Méthodologie

Sujets

Le groupe expérimental se compose de six sujets agénésiques du corps calleux.

Le premier, M.R., âgé de 13 ans, est le benjamin d'une famille de cinq enfants. Il est originaire de la région du Saguenay, Lac St-Jean. Son unique frère, le deuxième de la fratrie, est lui aussi agénésique du corps calleux. Ses trois soeurs sont apparemment normales au point de vue neurologique. A l'âge de cinq ans, M.R. fut hospitalisé en même temps que son frère aîné. A cette époque, son aîné était déjà reconnu agénésique, ce qui suscita immédiatement l'examen cérébral de M.R., confirmant aussi chez lui une agénésie du corps calleux. M.R. fréquente présentement une classe spéciale. Au niveau intellectuel, ses performances sont plutôt faibles. Ses capacités de lecture sont limitées, alors que sa connaissance des nombres est sommaire. Il peut reconnaître seulement les couleurs primaires. Du point de vue physique, les déficits associés à l'agénésie obligent M.R. à emprunter un fauteuil roulant pour ses déplacements. En plus, il s'avère être un garçon gâté et paresseux, ce qui ne facilite pas le travail des éducateurs. Cependant, il se montra très collaborateur et fasciné

par l'expérimentation.

Le second sujet, A.M., est une fille âgée de 13 ans. Elle est originaire de la région du Saguenay Lac St-Jean. Elle est la plus jeune d'une famille de deux enfants. Sa soeur, plus âgée de quatre ans, fréquente la classe régulière et ne souffre d'aucun problème apparent. Cependant, une de ses cousines est agénésique du corps calleux et un de ses oncles, du côté maternel, est décédé d'hydrocéphalie. A.M. est née suite à une grossesse normale et lors d'un accouchement sans difficulté. Les périodes pré-natale et post-natale se sont déroulées normalement. C'est à l'âge de 18 mois que l'on a remarqué un développement psycho-moteur lent alors diagnostiqué comme étant un retard psycho-moteur d'étiologie indéterminée. Ce n'est qu'à l'âge de six ans et à l'aide de béquilles qu'elle effectue ses premiers pas. Elle n'a jamais réussi à marcher seule, devant recourir à des béquilles canadiennes. Depuis un certain temps, on note même une certaine détérioration. De façon générale, son tonus musculaire est diminué, les membres inférieurs sont davantage touchés que les membres supérieurs. Une faiblesse distale importante est cependant notée au niveau des doigts. Au niveau postural, elle présente une cypho-scoliose. Ces handicaps physiques la rendent facilement fatigable. Une tomographie axiale, de même qu'un examen neurologique récents ont permis de diagnostiquer une polyneuropathie

motrice et une agénésie du corps calleux. Au niveau intellectuel, cette jeune fille se débrouille assez bien en français, ayant atteint une quatrième année. Il est bon de noter que son développement intellectuel est favorisé par son milieu familial. Cependant, on dénote chez elle un manque d'attention, de concentration et des difficultés d'abstraction qui rendent difficile l'apprentissage des mathématiques. Son comportement pendant l'expérimentation fut très bon, compte tenu de ses capacités physiques limitées.

Le troisième sujet, N.L., est une fille âgée de 13 ans et 9 mois, originaire, elle aussi, de la région du Saguenay Lac St-Jean et demeurant chez ses parents. Aucun antécédent familial d'agénésie du corps calleux n'a été officiellement mis à jour. N.L. est la plus âgée d'une famille de deux enfants. Sa soeur, plus jeune d'une année, fréquente la cinquième année régulière au niveau scolaire et son état physique ne présente aucune anomalie. N.L., en plus d'être agénésique du corps calleux, est porteuse d'une polyneuropathie affectant surtout les membres inférieurs. On remarque donc une capacité motrice nettement réduite au niveau des membres inférieurs, alors que les membres supérieurs ont conservé un meilleur tonus. Cette dernière lacune l'oblige à emprunter des béquilles canadiennes ou un fauteuil roulant pour se déplacer, selon la distance à parcourir. Cependant, elle ne souffre pas de déformation

particulière, sauf une torsion fémorale interne à angle droit. Présentement, elle est incommodée par une scoliose-lombaire de 24 à 30 degrés. Au point de vue scolaire, ce sujet est intégré à une classe spéciale. Elle est motivée et plutôt joviale. C'est d'ailleurs l'attitude qu'elle a traduite tout au long de l'expérimentation, démontrant beaucoup d'intérêt.

Le sujet suivant, M.G., est le dernier d'une famille de quatre enfants, originaire de la région de Montréal. Il est âgé de 12 ans. L'une de ses soeurs est, elle aussi, atteinte d'agénésie du corps calleux. Cependant, le reste de la famille ne présente pas d'anomalie physique ni de trouble neurologique apparent. La naissance de M.G. fut difficile avec problèmes de cyanose traités par la réanimation. Ayant remarqué des problèmes de motricité, un retard au niveau du langage ainsi que de l'énurésie chronique, il fut hospitalisé à l'âge de 4 1/2 ans. A ce moment, un examen neuropsychologique révéla des troubles d'intégration neuro-sensorielle, des difficultés de coordination et d'équilibre ainsi qu'un retard marqué du langage. En plus, une pneumo-encéphalographie démontra une absence totale du corps calleux. Cette dernière observation fut confirmée à l'âge de neuf ans par tomographie axiale. Au niveau scolaire, il fréquente une classe spéciale. Son rendement par rapport au groupe est moyen et même supérieur. Il demeure toujours qu'il est encore gêné par des troubles de

coordination motrice et de langage, ce qui ne l'aide pas au niveau de la vie sociale avec ses confrères. Il a quand même pu apprendre à aller à bicyclette, ce qui dénote un net progrès de l'équilibre. Pour ce qui est de l'expérimentation, M.G. s'est montré plutôt impatient. Il avait hâte de terminer, même s'il semblait se forcer pour fournir les bonnes réponses.

Sa soeur, L.G., est âgée de 20 ans. C'est le deuxième enfant de la famille. Elle aussi est née dans des conditions difficiles au cours du septième mois de la grossesse, avec présentation de siège et anoxie. Sa première hospitalisation remonte à l'âge de 3 1/2 ans, En effet, suite à un accident, elle subit un léger traumatisme crânien. L'électro-encéphalogramme dénota une dysrythmie lente sans foyer épileptique. Plus tard, à l'âge de six ans, on l'hospitalisa de nouveau pour mutisme électif et ataxie. L'examen neurologique fut négatif, mais un pneumo-encéphalogramme révéla une agénésie totale du corps calleux. Ce dernier diagnostic a été confirmé à l'âge de 17 ans par tomographie axiale. Le mutisme est maintenant disparu. Elle demeure avec ses parents après avoir terminé son cours de niveau secondaire au professionnel court, section Arts ménagers. Pendant l'expérimentation, elle était très collaboratrice, même si au début elle semblait un peu craintive et gênée.

Le dernier sujet, E.C., 24 ans, est la plus âgée de ce groupe expérimental. Originnaire de la région du Saguenay Lac St-Jean, elle est la troisième d'une famille de sept enfants. Elle est la seule à ne pas être normale au point de vue physique dans sa famille. Des tests d'intelligence administrés à l'âge de 6, 12 et 23 ans, l'ont toujours placée aux limites de la débilité moyenne et profonde. Cependant, son expression verbale est bonne. Au niveau psychologique, les tests indiquent qu'elle possède une personnalité peu organisée. C'est une personne anxieuse, agressive, dépendante et qui sait se servir de son émotivité pour manipuler son entourage. Au niveau de l'apprentissage, elle est lente et irrégulière, dû en partie à des difficultés de concentration prononcées. Elle doit présentement demeurer à la maison, car son âge ne lui permet plus de fréquenter les classes spéciales. Cette situation la rend très agressive. D'ailleurs, on note chez elle une forte régression depuis son départ de l'école et sa mère affirme avoir beaucoup de difficultés avec elle. Pendant l'expérimentation, qui se déroulait à l'école, elle était nerveuse et souvent distraite. Il fallait constamment la ramener à la tâche.

Groupe contrôle

Certains critères ont aidé à déterminer les sujets contrôles afin que le pairage avec les sujets expérimentaux

soit adéquat. Les individus choisis devaient tout d'abord être de même sexe. Il fallait que leur âge et leur performance à un test d'intelligence (Ottawa-Wechsler ou Wisc selon l'âge) soient le plus semblable possible. Il en était de même pour leurs capacités de compréhension et de communication avec l'expérimentateur. Ces divers critères nous assurent que le degré et le potentiel d'apprentissage ainsi que la capacité de communication avec l'extérieur n'influencent pas d'une manière déterminante les résultats. En plus, aucun des sujets contrôles ne devait souffrir d'anomalies sérieuses au niveau du système visuel tel le strabisme ou une faiblesse marquée d'un oeil par rapport à l'autre. Enfin, pour s'assurer que tous les sujets pouvaient discriminer la profondeur à partir d'une certaine distance, ils se sont soumis au test de l'Oculo-kinésimètre. Ces divers tests de pré-sélection sont d'ailleurs décrits dans la prochaine section.

Tests préliminaires

Quotient intellectuel

Le premier test administré est le Wisc (Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants) pour les enfants âgés de 15 ans et moins ou l'Echelle d'intelligence Ottawa Wechsler pour les personnes plus âgées. Ces tests permettent de situer le niveau intellectuel des sujets du groupe expérimental. A

partir des résultats obtenus, il est possible de jumeler à chacun des sujets expérimentaux un individu qui, au niveau intellectuel, possède sensiblement le même degré de fonctionnement.

Perception de la profondeur

Un oculo-kinésimètre (Gerbrands, modèle T-2B-1, Ralph Gerbrands Co.) est employé pour mesurer le seuil de la perception tridimensionnelle.

Le sujet, à l'aide de deux cordes et à partir d'une distance de quatre mètres, doit rapprocher le plus possible l'une de l'autre deux tiges verticales rattachées aux deux cordes. Les tiges sont montées sur deux pistes coulissantes parallèles. Une échelle de mesure graduée en centimètres permet d'évaluer la distance entre les deux barres si nous traçons une ligne perpendiculaire aux deux pistes à la hauteur des barres. Ces barres, ainsi que les pistes coulissantes, sont montées dans une boîte éclairée de l'intérieur. L'une des extrémités de la boîte est ouverte et permet au sujet de bien localiser les barres verticales sans trop recevoir d'indice de localisation de celles-ci sur le plancher ou le plafond de la boîte. Le sujet est assis pour manipuler les cordes et l'appareillage est installé dans une pièce où l'éclairage est relativement bas, dans le but d'aider le sujet à mieux se concentrer sur la tâche. Le sujet effectue cinq essais et

l'ensemble de ceux-ci nous permet d'évaluer la distance minimum qui doit séparer les deux stimuli afin que l'individu perçoive bien la profondeur. Si cette distance doit être trop prononcée le sujet se révèle inapte à effectuer les expérimentations subséquentes et un autre individu lui est préféré.

Vision stéréoscopique

Le présent test préliminaire est employé afin de vérifier l'efficacité des sujets agnésiques en vision stéréoscopique. A l'aide d'un stéréoscope, le sujet doit observer un stéréogramme de Julesz (1971) et décrire la figure qu'il perçoit aux expérimentateurs. Une seule figure leur est présentée, soit une barre verticale. Chaque sujet, tant ceux du groupe contrôle que du groupe expérimental, est appelé à effectuer ce bref sous-test après avoir terminé les essais à l'Oculo-kinésimètre. Si le sujet est en mesure de décrire la forme qui lui est présentée après un certain temps d'observation, la tâche est réussie; s'il y a échec à percevoir la forme, le sujet est quand même soumis à l'expérimentation de cette étude.

Appareils et procédures

Description des appareils

Les appareils qui ont permis d'évaluer la perception de la profondeur lors de cette expérimentation sont les suivants.

Ils sont d'ailleurs présentés au schéma de la figure 2. Tout d'abord, un stroboscope (Photo-stimulator Grass, modèle PS 2, Grass medical instruments) dont la lampe est installée à trois mètres au-dessus d'une table de présentation permet d'illuminer les stimuli pendant un court laps de temps. Cette période (150 millisecondes) ne peut permettre au sujet d'effectuer un balayage oculaire des stimuli, étant donné la brièveté de l'éclair lumineux.

La table de présentation mesure 75 centimètres de largeur et 150 centimètres de longueur. Elle est munie de pattes spéciales permettant d'ajuster la hauteur de la table au niveau des yeux du sujet lorsqu'il est assis. La table est recouverte d'un drap de laine entièrement noir. Il est non-lustré et ne reflète presque pas la lumière. Ce drap forme une pente derrière l'espace d'emplacement des stimuli dans le but d'éliminer le plus possible les indices de profondeur qui pourraient apparaître à l'arrière plan du champ visuel du sujet.

Au centre de la table est installée une diode rouge de 3.5 volts alimentée par une batterie possédant la même tension. Cette diode sert de point de fixation pour le sujet. En effet, il est important de pouvoir conserver l'angle de vision à l'intérieur de ce schème expérimental. La diode est située en-dessous et perpendiculairement à la lampe du stroboscope

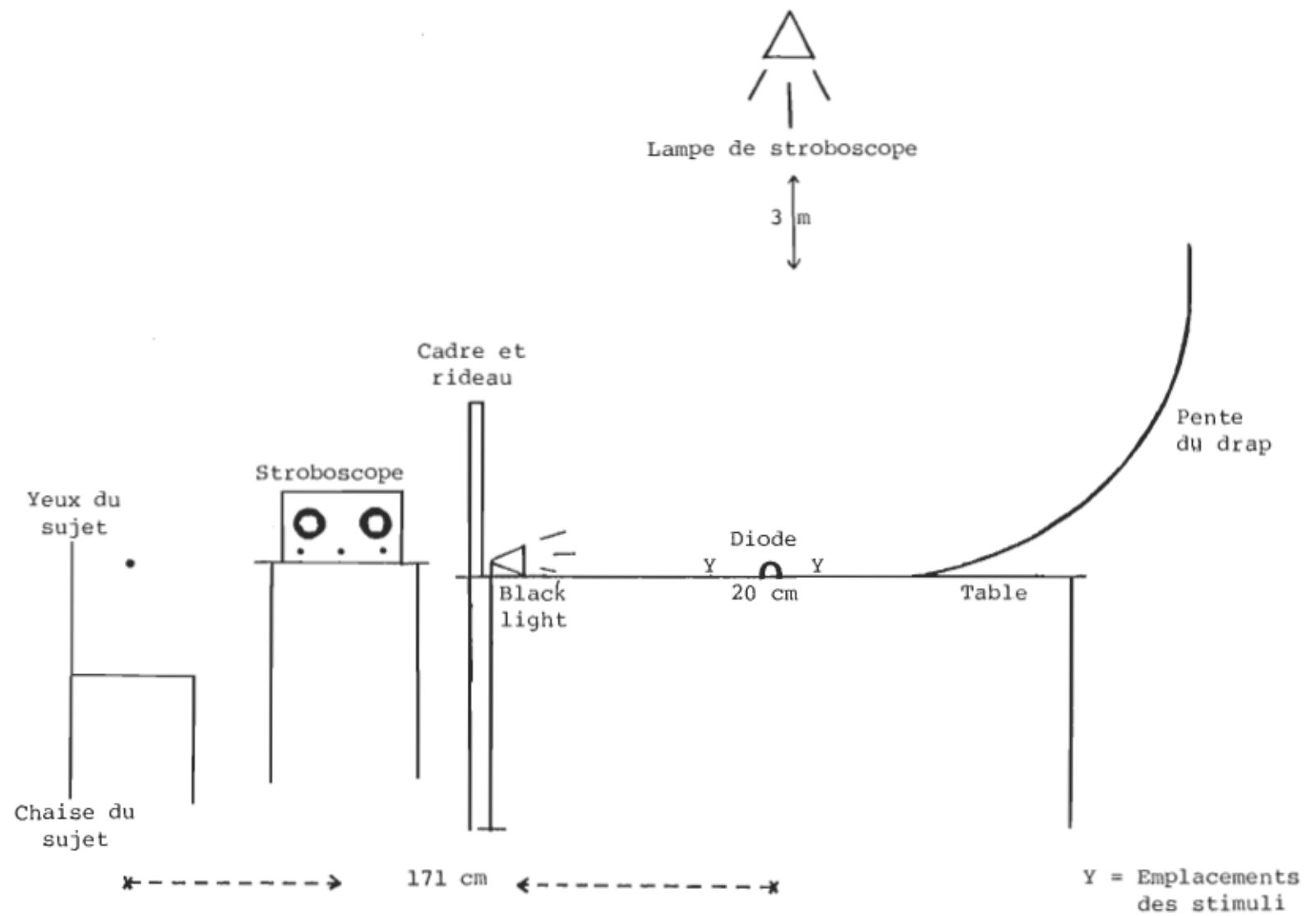


Fig. 2 - Appareil de perception de la profondeur

afin d'annuler le plus possible les ombrages qui pourraient servir d'indice dans l'analyse de la profondeur. La diode se trouve à 171 centimètres des yeux du sujet.

A l'avant de la table, un cadre fixé aux premières pattes supporte un rideau noir opaque obstruant une partie du champ de vision du sujet entre chaque essai de l'expérimentation. Lorsque ce rideau est fermé, il lui est impossible de voir les différentes manipulations de l'expérimentateur sur la table. L'ouverture et la fermeture de ce rideau sont contrôlées rapidement grâce à un mécanisme de tringle à tirage actionnée par un cordon. Les dimensions du rideau sont de 45 centimètres de haut et 95 centimètres de large.

L'expérimentation se déroule dans l'obscurité totale. Il faut donc rendre opaques tous les espaces laissant introduire des rayons lumineux. Entre chaque essai, une lampe conçue pour faire apparaître les éléments phosphorescents (black light) est actionnée pour donner la possibilité à l'expérimentateur de reconnaître et de bien placer les stimuli. Des points phosphorescents sont marqués sur le drap couvrant la table de présentation afin de faciliter la mise en place des stimuli.

Pour ce qui est des stimuli, ils sont composés de 16 paires d'objets familiers miniatures (chien, baril, etc.,

voir liste en appendice A). Les deux éléments de la paire sont peints, l'un en vert et l'autre en jaune, pour faciliter le repérage rapide de ceux-ci par le sujet lors de la brève exposition à la lumière. Les stimuli représentent un volume cubique d'environ 100 centimètres. La taille de ceux-ci peut varier légèrement, l'un par rapport à l'autre, à l'intérieur de certaines paires. Lors de la présentation des stimuli au sujet, un stimulus est placé à 10 centimètres en avant de la diode, alors que l'autre se situe à la même distance de celle-ci, mais en arrière. Enfin, l'angle des stimuli à l'intérieur du champ visuel du sujet varie selon les sous-tests.

Fonctionnement des appareils

C'est à partir du stroboscope (Photostimulator Grass, modèle PS 2, Grass medical instruments) que l'expérimentateur déclenche le mécanisme qui permet d'illuminer les stimuli. L'appareil est mis en marche quelques secondes avant le début de l'expérimentation. L'intensité lumineuse utilisée est maximale et la durée du stimulus est de 150 millisecondes.

Lorsque le sujet se dit prêt et qu'il fixe bien la diode rouge sur la table de présentation, l'expérimentateur actionne le bouton contrôlant l'illumination. Ce déclencheur actionne la lampe du stroboscope illuminant ainsi les stimuli. C'est le sujet qui détermine la longueur de chaque délai entre

les essais, selon son état de fatigue ou de motivation. Entre chaque essai, le rideau est fermé et la lumière fluorescente est allumée afin de permettre la substitution des stimuli.

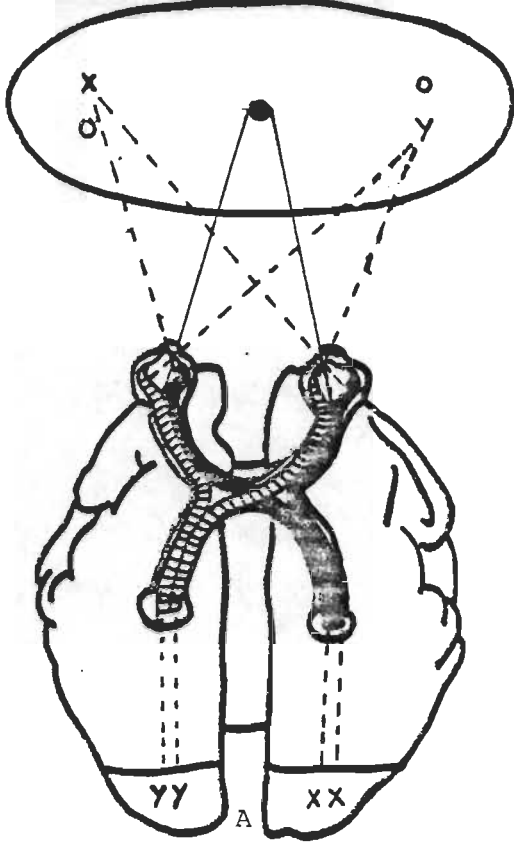
Déroulement de l'expérience

A. Les différents sous-tests

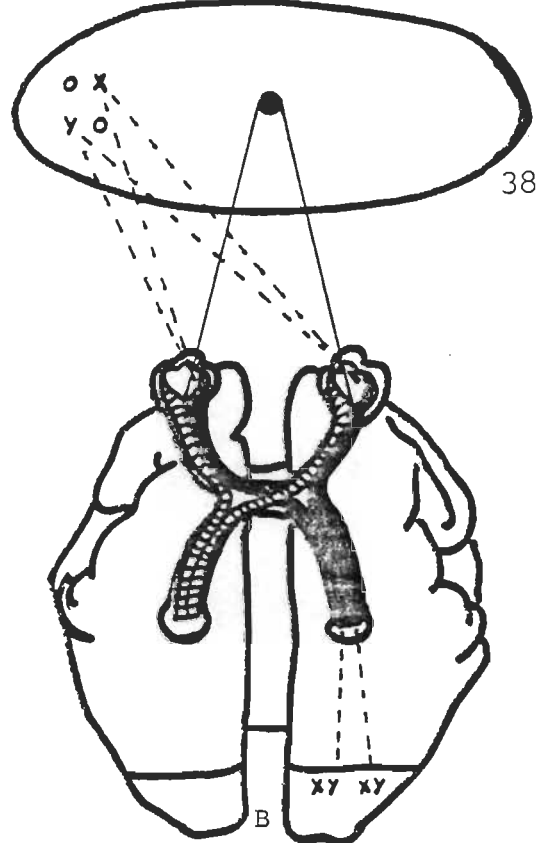
Lors de l'expérimentation, tous les sujets doivent effectuer quatre sous-tests de 64 essais chacun. Ces essais sont composés des 16 paires de stimuli qui apparaissent toutes quatre fois et se succèdent au hasard. Les sous-tests correspondent à quatre positions différentes des stimuli sur la table de présentation, permettant de faire une évaluation de la perception de la profondeur à différents niveaux du champ visuel.

Le premier sous-test correspond à la perception de la profondeur en champ périphérique interhémisphérique. Les deux stimuli sont placés de part et d'autre d'une diode centrale (point de fixation) à au moins 3.5° d'angle de chaque côté. Comme on peut le voir à la figure 3A, dans ce sous-test, l'information du stimulus de gauche se retrouve uniquement au niveau de l'hémisphère droit et vice-versa. Pour que l'analyse de la profondeur soit adéquate, il faut donc recourir aux fibres de connexions interhémisphériques du corps calleux.

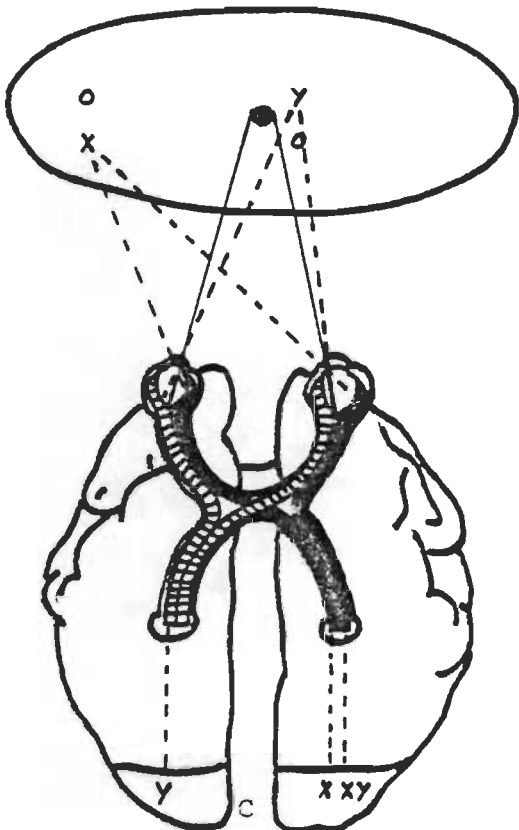
Le deuxième sous-test évalue la perception de la profondeur en champ périphérique intrahémisphérique. Pour ce



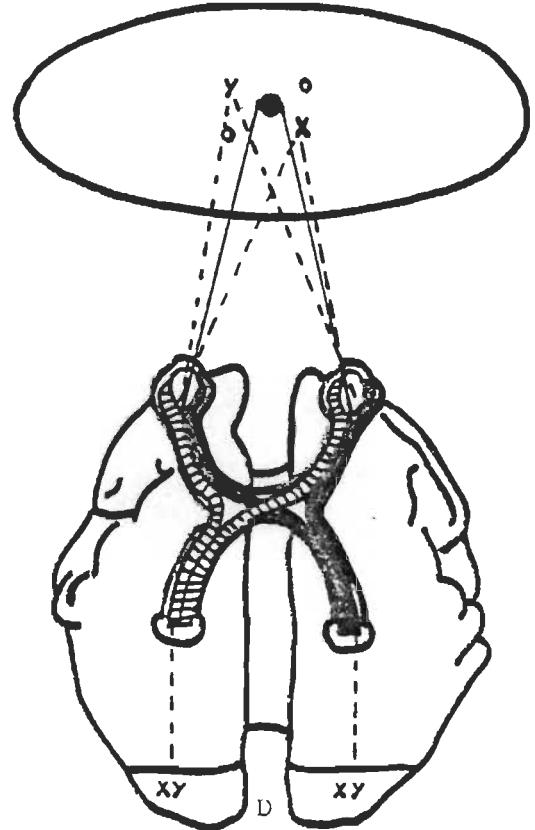
Périphérique
interhémisphérique



Périphérique
intra-hémisphérique



Central périphérique



Central

Fig. 3 - Description des sous-tests

XY = position des stimuli
o = autres positions
possibles des stimuli

faire, les deux stimuli se retrouvent du même côté du point de fixation sans qu'il y ait recouvrement d'un objet par rapport à l'autre. Le stimulus le plus près de la diode se situe à au moins 3.5° d'angle de celle-ci. Au niveau de ce sous-test (figure 3B), les deux stimuli sont projetés à l'intérieur d'un seul hémisphère, soit celui controlatéral à la position des objets par rapport au point de fixation. Cette condition ne fait donc pas directement appel à l'utilisation du corps calleux.

Le troisième sous-test correspond à la perception de la profondeur centrale périphérique (figure 3C). Cette condition est satisfaite en autant que les stimuli sont situés de part et d'autre du point de fixation, l'un en vision périphérique (3.5° d'angle) et l'autre en vision centrale (0.5° d'angle de la diode centrale). Ici, l'hémisphère cérébral controlatéral au stimulus placé en périphérie, reçoit l'information des deux objets, alors que l'autre ne reçoit que l'information du stimulus placé en vision centrale. Dans cette condition, l'analyse de la profondeur devrait donc se faire avec ou sans l'apport du corps calleux.

Le dernier sous-test évalue la perception de la profondeur en vision centrale. Là encore, les deux stimuli se retrouvent de part et d'autre de la diode, mais cette fois la

distance entre les deux objets est de 1° d'angle visuel. Ici (figure 3D), chaque hémisphère reçoit l'information de l'emplacement des deux objets. C'est donc dire que chaque hémisphère, indépendamment de l'autre, semble en mesure d'effectuer une analyse adéquate de la perception de la profondeur.

B. Procédure lors de l'expérimentation

Cette épreuve expérimentale nécessite la présence de deux expérimentateurs. La première tâche qui leur est assignée est d'accueillir le sujet en vue de le rassurer quant au recours à l'obscurité dans ce type d'expérimentation. De plus, ce temps permet aux expérimentateurs de faire connaissance avec le sujet et de familiariser ce dernier avec le local et les appareils nécessaires à l'étude. Ainsi, le sujet se sent davantage en confiance dans l'obscurité, tout en ayant eu la possibilité de se familiariser avec les différents stimuli.

Après cette première étape, lorsque le sujet se dit prêt à entreprendre l'expérimentation, un expérimentateur l'installe dans la chaise réservée à cette fin, ajuste la hauteur de la table et vérifie la distance entre les yeux du sujet et la diode. Pendant ce temps, le deuxième expérimentateur s'assure du bon fonctionnement des appareils et prépare les stimuli pour les premiers essais. Par la suite, le premier expérimentateur instruit le sujet sur les consignes à suivre en ces termes:

Est-ce que tu vois bien la petite lumière rouge (point de fixation) sur la table?... Attends un peu, nous allons éteindre les lumières de la pièce et laisser seulement celle-ci (lumière fluorescente)... Tu vois la petite lumière rouge beaucoup mieux, n'est-ce pas?... Ta tâche consiste, une fois que ce rideau est ouvert et cette lumière éteinte (lumière fluorescente), à bien regarder avec tes deux yeux la petite lumière rouge. Quand tu la regarderas bien et que tu seras prêt, tu nous en informes. Là, tu verras apparaître, grâce à une lumière qui passe très rapidement (flash), les deux objets, un vert et un jaune, que nous aurons placés sur la table. Il y en a toujours un qui est en avant de l'autre. Il s'agira pour toi de nous dire quel objet était en avant de l'autre: celui qui était à gauche ou à droite de la lumière rouge, ou, si tu préfères, l'objet peint en jaune ou en vert. Il est très important que tu nous donnes le plus de bonnes réponses possibles.

Donc, tu dois bien regarder de tes deux yeux la petite lumière rouge et nous dire, une fois que le "flash" est passé, quel objet tu as perçu en avant de l'autre, autrement dit, quel objet était plus près de toi. Es-tu prêt? Nous allons faire quelques essais...

Une fois s'être assuré que le sujet a bien compris la consigne en effectuant quelques exemples préliminaires, le premier sous-test débute.

Pendant l'expérimentation, un expérimentateur se charge de l'ouverture et de la fermeture du rideau servant d'écran au sujet, de l'interrupteur actionnant la lumière fluorescente et de prendre en note les réponses du sujet. Seule la qualité de la réponse, bonne ou mauvaise, est enregistrée. L'autre expérimentateur a pour fonction de placer les stimuli sur la table de présentation suivant l'ordre du protocole et d'appuyer sur le commutateur qui active la lampe du stroboscope (150 millisecondes) après s'être assuré que le sujet regarde bien le point de fixation. Ce dernier a également pour tâche de rappeler au sujet les consignes à respecter pendant l'expérimentation.

Une période de 10 minutes sépare chaque sous-test afin de permettre au sujet de se reposer. L'un des expérimentateurs lui tient compagnie alors que l'autre profite de cette interruption pour disposer adéquatement les stimuli en vue de l'épreuve suivante.

Chapitre III

Présentation des résultats

Résultats aux tests préliminaires

Epreuves d'intelligence

Le tableau 1 présente les données concernant le sexe, l'âge et le quotient intellectuel (tel que mesuré par le Wisc ou l'Ottawa-Wechsler) de tous les sujets, tant du groupe expérimental que du groupe contrôle. Trois sujets du groupe expérimental, soit M.R., A.M. et E.C., présentent une déficience intellectuelle moyenne. Cependant, leur capacité verbale est suffisamment développée pour leur permettre de bien s'exprimer et de se faire comprendre d'un interlocuteur. Ainsi, on ne note aucun problème d'identification de la gauche et de la droite ou encore du jaune et du vert, distinctions essentielles aux fins de l'expérimentation. D'ailleurs, des indices tels que la qualité du discours, la reconnaissance des couleurs ou la distinction de la position (gauche, droite) d'un objet, nous porte à croire que ces sujets ont un potentiel intellectuel probablement plus élevé que ne le démontre le test d'intelligence utilisé. Un test adapté à la capacité physique et tenant compte de certaines limites de l'individu (concentration, attention, etc.) permettrait probablement d'avoir une meilleure approximation de leur aptitude

Tableau 1
Quotient intellectuel

Groupe	Sujets	Sexe	Age	QI Global	Verbal	Performance
Expérimental	M.R.	M	13	55	-	-
	A.M.	F	13	55	67	51
	N.L.	F	13	74	73	80
	M.G.	M	12	77	71	87
	L.G.	F	20	78	81	81
	E.C.	F	24	43	67	34
Contrôle	J.G.L.	M	15	75		
	S.C.	F	13	56		
	G.H.	F	14	63		
	M.D.	M	14	64		
	M.C.	F	14	63		
	F.B.	F	27	50		

intellectuelle. Les trois autres sujets ont, pour leur part, démontré un niveau de fonctionnement qui les situe un peu en-dessous de la moyenne de la population. Ces performances nous démontrent la possibilité qu'ils ont de fonctionner normalement à l'intérieur de la société en tant qu'individu responsable.

Quant au groupe contrôle, des tests de comparaison statistique n'ont révélé aucune différence significative avec le groupe expérimental au niveau du quotient intellectuel

($t_{(5)} = 0.33$, $p > 0.5$) ou de l'âge ($t_{(5)} = 0.248$, $p > 0.5$).

Epreuve de perception de la profondeur

Le second test préliminaire a pour but de mesurer le seuil de perception tridimensionnelle. Les sujets doivent pouvoir comparer la distance entre deux bâtonnets et ce, à l'intérieur de certaines limites (10 cm à -10 cm) afin de s'assurer que la distance verticale entre les stimuli (20 cm) employée lors de l'expérimentation en soit une facilement identifiable par tous les individus.

Une analyse statistique est effectuée en vue de permettre la comparaison de la performance des sujets expérimentaux à celle des sujets contrôles. Le deuxième tableau présente donc le seuil de la perception de la profondeur pour chaque sujet tel que mesuré au test de l'Oculo-kinésimètre.

Aucune différence significative n'est observée entre les sujets expérimentaux et contrôles ($t_{(5)} = 1.87$, $p > 0.05$). Il est bon de noter cependant que ce test préliminaire permet au sujet d'utiliser certains indices monoculaires de perception de la profondeur se basant sur le déplacement à volonté des stimuli, la modification de l'angle de vision, un temps de présentation non contrôlé, etc., alors que le but des tests expérimentaux est d'annuler ces indices.

Tableau 2

Analyse de la performance à l'Oculo-
kinésimètre à l'aide du "Test T"

Sujets expérimentaux (S.E.)	Performance S.E.	Sujets contrôles (S.C.)	Performance S.C.	Différence de performance D	D ²
M.R.	-3.7	J.G.L.	-0.2	-3.5	12.25
A.M.	-9.2	S.C.	0.3	-9.5	90.25
N.L.	-2.8	G.H.	6.4	-9.2	84.64
M.G.	1.5	M.D.	-3.9	5.4	29.16
L.G.	-1.2	M.C.	0.6	-1.8	3.24
E.C.	-6.9	F.B.	0.3	-7.2	51.84

Vision stéréoscopique

Le dernier test préliminaire désire comparer l'efficacité des sujets agénésiques à celle des sujets normaux à repérer une barre verticale d'un stéréogramme de Julesz. Le tableau 3 nous présente le résultat de chaque sujet par rapport à cette tâche.

Tableau 3
Résultat à la tâche en vision stéréoscopique

Sujets expérimentaux	Résultat stéréogramme de Julesz	Sujets contrôles	Résultat stéréogramme de Julesz
M.R.	Oui	J.G.L.	Oui
A.M.	Non	S.C.	Non
N.L.	Oui	C.H.	Oui
M.G.	Non	M.D.	Oui
L.G.	Oui	M.C.	Oui
E.C.	Oui	F.B.	Non

Aucune analyse statistique n'est nécessaire afin de comparer ces résultats. Les deux groupes se révèlent efficaces (4/6) à repérer les figures de Julesz. Il est bon de noter que ce présent test préliminaire ne permet pas d'utiliser d'indices monoculaires dans l'analyse de la profondeur. Seule la perception binoculaire peut effectuer cette tâche.

Résultats de l'évaluation de la perception de la profondeur

Mesures expérimentales et transformations utilisées

Pour chacune des réponses du sujet, une seule mesure est utilisée, soit la qualité (bonne ou mauvaise) de la réponse fournie. A chaque sous-test, le nombre de bonnes réponses est cumulé et rapporté en pourcentage. Ces pourcentages subissent une transformation angulaire (Rohlf et Sokal, 1969), justifiée par le fait qu'un pourcentage possède une valeur binomiale (40% de oui signifié égalent 60% de non) qui induit une corrélation entre la moyenne et la variance. Il est souvent préférable d'éviter ce genre de corrélation. C'est donc à partir des résultats de cette conversion que les données subiront les analyses statistiques ultérieures.

Traitement des résultats et formules statistiques

L'évaluation de la perception de la profondeur est effectuée grâce à quatre conditions différentes qui correspondent à des positions variées des stimuli sur la table de présentation. Chacune de celle-ci constitue un sous-test de l'expérimentation. Le tableau 4 présente les résultats de tous les sujets à chacun des sous-tests.

Tableau 4

Résultats de l'ensemble des sujets aux quatre sous-tests

Groupe	Sujets	Périphérique Interhémisphérique		Périphérique Intrahémisphérique		Central Périphérique		Central	
		%	T.A. ¹	%	T.A.	%	T.A.	%	T.A.
Expérimental	M.R.	43.8	41.44	48.4	44.08	46.9	43.32	56.3	48.62
	A.M.	60.9	51.30	54.7	47.70	43.8	41.44	56.3	48.62
	N.L.	57.8	49.49	59.4	50.42	60.9	51.30	62.5	52.24
	M.G.	46.9	43.22	51.6	45.92	56.3	48.62	62.5	52.24
	L.G.	60.9	51.30	53.1	46.78	62.5	52.24	70.3	56.98
	E.C.	48.4	44.08	48.4	44.08	57.8	49.49	62.5	52.24
$\bar{X}$		53.1		52.6		54.7		61.7	
Contrôle	J.G.L.	100	90.00	90.6	72.15	100	90.00	100	90.00
	S.C.	93.8	75.58	90.6	72.15	75	60.00	87.5	69.30
	G.H.	92.2	73.78	71.9	57.99	84.4	66.74	93.8	75.58
	M.D.	90.6	72.15	81.3	64.38	100	90.00	98.4	82.73
	M.C.	93.8	75.88	81.3	64.33	96.9	79.86	93.7	75.46
	F.B.	79.7	63.22	65.6	54.09	82.8	65.50	89.1	70.72
$\bar{X}$		91.7		80.2		89.8		93.8	

¹T.A. = Valeur correspondant à la transformation angulaire

A partir de ces résultats, une analyse de variance bidimensionnelle à mesures répétées est utilisée afin de déterminer l'importance des différences entre les groupes expérimental et contrôle au niveau de leur performance respective. Elle permet aussi de connaître les sources de variance qui ont pu prendre de l'importance au cours de cette expérimentation. De plus, un test " χ^2 " a été effectué sur certains sous-tests afin de vérifier si les réponses ont été fournies aléatoirement. Cette dernière analyse a été appliquée sur les quatre sous-tests du groupe expérimental seulement, étant donné que leurs performances variaient entre 52.6% et 61.7%. Aucun sous-test du groupe contrôle ne pouvait susciter de doutes en ce sens, la moyenne la plus faible de ceux-ci se situant à 80.2%.

D'ailleurs, ce dernier type d'analyse révèle que pour trois des sous-tests, soit la périphérique interhémisphérique ($\chi^2_{(5)} = 4.5, p < 0.5$), la périphérique intrahémisphérique ($\chi^2_{(5)} = 1.63, p < 0.9$) et le central périphérique ($\chi^2_{(5)} = 5.4, p < 0.5$), les réponses ont été fournies au hasard par les sujets agénésiques du corps calleux. Par contre, les réponses au sous-test central, tout comme celles des sujets du groupe contrôle, sont données de façon non aléatoire ($\chi^2_{(5)} = 12.28, p < 0.05$). Ces calculs sont rapportés en appendice B.

Pour ce qui est de l'analyse de variance (tableau 5), une différence nettement significative est observée au niveau

du taux de bonnes réponses fourni à chacun des sous-tests entre le groupe expérimental et le groupe contrôle ($F(1,10) = 54.09$, $p < 0.01$). En effet, comme l'illustre la figure 4, le groupe contrôle présente une performance de loin supérieure à celle des sujets expérimentaux. Une différence significative est également observée (tableau 5) entre les sous-tests de cette expérimentation.

Tableau 5
Analyse de variance
groupes X sous-tests

Source de variation	SC	DL	CM	F
Entre sujets	8717.88	11		
Groupes	7357.69	1	7357.69	54.09**
Résiduelle	1360.19	10	136.02	
Intra-sujet	1456.16	36		
Entre: 4 sous-tests	531.61	3	177.20	7.47**
Tests X groupes	212.55	3	70.85	2.99*
Résiduelles	712.00	30	23.73	
Total	10174.04			

** $p < .001$

* $p < .05$

Celle-ci semble indiquer qu'indépendamment des sujets, les sous-tests possédaient un degré de difficulté dissemblable au départ. En effet, le sous-test périphérique intrahémisphérique semble plus difficilement accompli que les autres. De

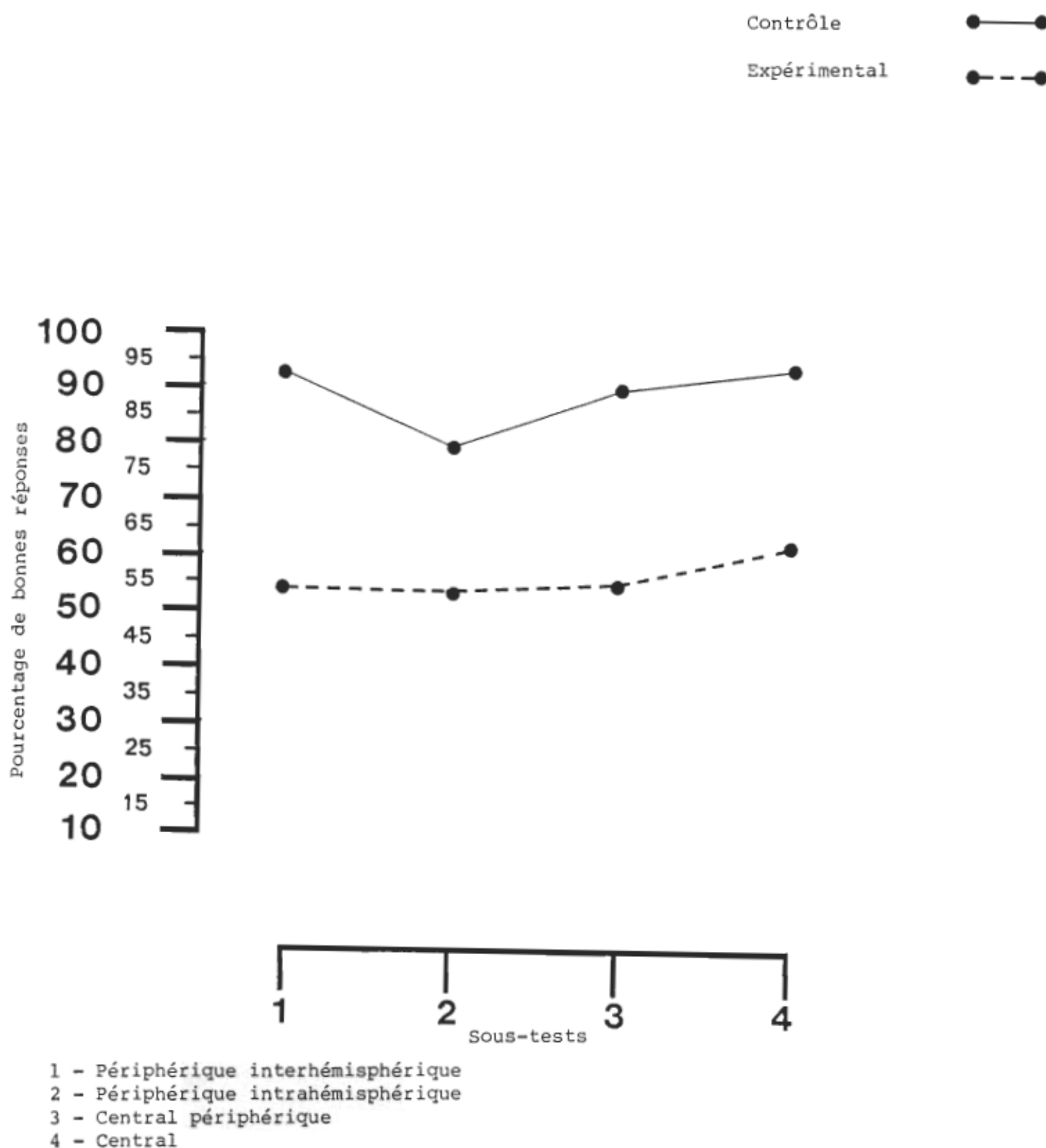


Fig. 4 - Pourcentage moyen de bonnes réponses pour chacun des groupes à chaque sous-test.

plus, une autre différence significative est observée au niveau de l'interaction T est X Groupe. Cette dernière valeur signifie que, dépendamment du sous-test et du groupe, la performance risque de varier beaucoup. Cette dernière source de variance est probablement attribuable en grande partie au fait que la condition interhémisphérique est échouée par les sujets acalculs, alors que les sujets contrôles réussissent très bien cette même épreuve.

Spécialisation hémisphérique

Le sous-test intrahémisphérique permet d'effectuer une comparaison de la performance de chaque hémisphère en terme de taux de bonnes réponses. Rappelons en effet, que cette condition assure la présentation des deux stimuli au niveau d'un seul hémisphère à la fois, à savoir l'hémisphère controlatéral. Ainsi, il est possible de vérifier si un hémisphère cérébral possède un avantage quelconque sur son homologue en ce qui regarde l'analyse de la perception de la profondeur. Le tableau 6 présente les résultats regroupés en terme de performance hémisphérique.

Tableau 6
Résultats de chaque hémisphère au sous-test
périphérique intrahémisphérique

Groupe	Sujet	Hémisphère gauche %	T.A. ¹	Hémisphère droit %	T.A.
Expérimental	M.R.	46.9	43.22	50.0	45.00
	A.M.	56.3	48.62	53.1	46.78
	N.L.	56.3	48.62	62.5	52.24
	M.G.	53.1	46.78	50.0	45.00
	L.G.	50.0	45.00	56.3	48.62
	E.C.	46.9	43.22	50.0	45.00
	$\bar{X}$	51.6		53.6	
Contrôle	J.G.L.	87.5	69.30	93.8	75.58
	S.C.	84.4	66.74	96.9	79.86
	G.H.	75.0	60.00	68.9	56.10
	M.D.	78.1	62.10	84.4	66.74
	M.C.	84.4	66.74	78.1	62.10
	F.B.	62.5	52.24	68.9	56.10
	$\bar{X}$	78.6		81.8	

¹ T.A. = Transformation angulaire.

Une analyse de variance bidimensionnelle à mesures répétées a également été effectuée sur ces résultats (tableau 7). Cette analyse révèle, tout comme la précédente, une différence très marquée entre les sujets agénésiques et le groupe contrôle. Par contre, aucune différence significative n'est notée quant au taux de réussite obtenu par chaque hémisphère.

Tableau 7
Analyse de variance
groupes X hémisphères

Source de variation	SC	DL	CM	F
Entre sujets	2570.17	11		
Groupes	1935.01	1	1935.01	30.46**
Résiduelle	635.16	10	63.52	
Intra-sujets	161.92	12		
Entre les hémisphères	29.35	1	29.35	2.32
Groupe X hémisphère	6.18	1	6.18	0.49
Résiduelle	126.39	10	12.64	
Total	2732.09			

** $p < .001$

D'ailleurs, la performance moyenne de chaque hémisphère rendait ce présent résultat très prévisible. Enfin, la figure 5 illustre l'absence de dominance cérébrale dans cette tâche visuelle qu'est la perception de la profondeur.

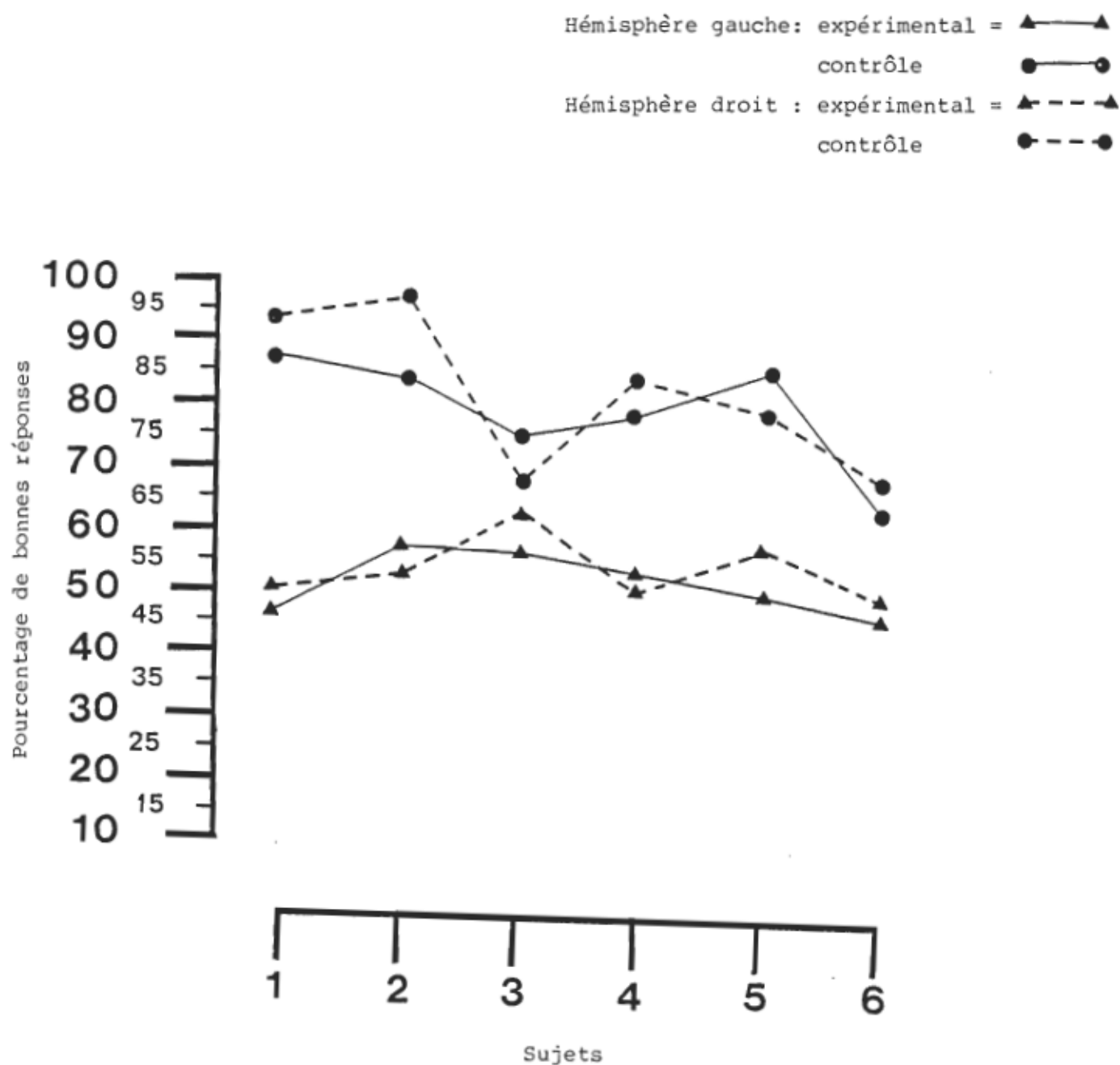


Fig. 5 - La dominance cérébrale à partir du sous-test périphérique intrahémisphérique

Chapitre IV

Interprétation des résultats et discussion

Interprétation des résultats

Dans cette étude portant sur l'évaluation de la perception de la profondeur chez les sujets acalleux, ces derniers démontrent une performance nettement inférieure aux sujets de même âge et de même niveau intellectuel. La performance est sensiblement la même pour les quatre sous-tests permettant d'évaluer la perception tridimensionnelle à tous les niveaux du champ visuel. Ces résultats comportementaux nous indiquent qu'il existe des déficits importants au niveau du mécanisme d'analyse de la profondeur chez les patients souffrant d'une absence congénitale du corps calleux.

Les différents sous-tests

Périphérique interhémisphérique

Cette épreuve démontre qu'il est impossible pour les sujets acalleux d'effectuer efficacement une analyse de perception de la profondeur lorsque les stimuli proviennent des deux champs visuels périphériques à la fois. Les réponses qu'ils fournissent à ce sous-test sont aléatoires. Ils ne sont donc pas en mesure d'effectuer une analyse faisant appel

à la vision tridimensionnelle sous de telles conditions. De plus, les résultats des sujets acalleux sont significativement inférieurs aux résultats de leurs pairs "normaux". A ce niveau, le corps calleux se révèle une structure de transfert interhémisphérique nécessaire à l'analyse de la perception de la profondeur.

Périphérique intrahémisphérique

Ce sous-test faisant appel aux structures servant à l'analyse de la profondeur au niveau d'un champ périphérique à la fois traduit une difficulté particulière pour les sujets. En effet, ce sous-test est le moins bien réussi tant pour les sujets normaux que pour les sujets acalleux. Ces derniers répondent aléatoirement à cette épreuve et démontrent ainsi leur incapacité totale à analyser la profondeur lorsque les éléments proviennent soit d'un côté ou de l'autre du champ visuel et à 3.5° ou plus d'angle. Pour ce qui est des sujets normaux, leur réussite moyenne en terme de bonnes réponses est inférieure (80%) à tous les autres sous-tests ($\bar{X}$ = 94%).

Ce sous-test traduit donc deux choses. Premièrement, contrairement à ce que l'on pouvait penser, le corps calleux ne joue pas seulement un rôle de transfert interhémisphérique lorsque l'on parle d'analyse de la profondeur, mais il se révèle nécessaire à une évaluation adéquate des éléments

tridimensionnels sans recourir au transfert interhémisphérique. Deuxièmement, l'analyse des éléments de profondeur en périphérie intrahémisphérique semble une tâche plus compliquée que toute autre à l'intérieur du champ visuel. La résolution des cellules visuelles desservant le champ périphérique se révèle donc moins efficace lorsque les indications proviennent d'une zone réduite d'un champ périphérique.

Central périphérique

Tout comme les deux sous-tests précédents, les sujets acalleux démontrent une incapacité d'analyse de la profondeur dans cette tâche. Ces derniers répondent aléatoirement à l'épreuve expérimentale qui leur est présentée. Ces résultats confirment donc eux aussi que le corps calleux a un rôle plus étendu que le simple transfert interhémisphérique de l'information des indices de profondeur. En effet, tout comme pour le sous-test périphérique intrahémisphérique, aucun transfert interhémisphérique n'est nécessaire dans cette tâche.

Central

Contrairement aux autres sous-tests, le central offre certaines possibilités d'analyse de la profondeur pour les sujets acalleux. En effet, même si le résultat de ces derniers (61.7%) est de beaucoup inférieur à leurs pairs normaux (93.8%),

les réponses observées chez les agénésiques ne résultent pas d'une production aléatoire. Les sujets acalleux sont par conséquent en mesure de fournir une certaine production quant à l'analyse de la profondeur lorsque les éléments sont concentrés au centre du champ visuel. D'ailleurs, ce sous-test semble faire appel à la partie du mécanisme la plus adéquate pour l'analyse de la profondeur, tant chez les sujets normaux que chez les sujets agénésiques, car la réussite est plus prononcée pour les deux groupes.

Dominance cérébrale

Le sous-test périphérique intrahémisphérique donnait la possibilité d'effectuer une analyse par rapport à l'habileté de chaque hémisphère à évaluer la perception de la profondeur. Cette analyse traduit à nouveau la nette différence entre les sujets normaux et agénésiques, mais ne démontre aucune différence quant à la réussite relative de chaque hémisphère. Ces résultats signifient donc qu'il n'y a aucune dominance cérébrale tant chez les sujets acalleux que chez leurs pairs en ce qui regarde l'analyse de la perception tridimensionnelle.

En conclusion, nous observons une nette différence entre les sujets souffrant d'une absence congénitale du corps calleux et les sujets normaux quant à l'analyse de la profondeur à l'intérieur de tout le champ visuel. Les sujets

acalleux peuvent effectuer cette tâche seulement si les stimuli se retrouvent concentrés à l'intérieur du champ visuel central. De plus, la structure callosale ne joue pas seulement un rôle de transfert interhémisphérique dans cette tâche perceptuelle, mais semble impliquée dans tous les niveaux d'analyse. Enfin, aucune spécialisation hémisphérique dans l'analyse de la profondeur n'a pu être notée.

Discussion

Plusieurs résultats découlent de la présente recherche. L'un de ceux-ci est l'absence de spécialisation hémisphérique lors de l'analyse de la profondeur. En effet, les sujets normaux comme les sujets agénésiques présentent un potentiel d'analyse de la profondeur équivalent au niveau des deux hémisphères cérébraux. La présente étude indique donc, tout comme pouvaient le démontrer les résultats de Ouellet (1981), contrairement à ceux de Durnford et Kimura (1971), que l'analyse de la perception de la profondeur est au départ une tâche bilatéralisée chez les sujets normaux et que l'agénésie calleuse ne semble pas modifier cette organisation fonctionnelle. Seule une réduction significative de rendement mesurable en termes de pourcentage de réussite est notée.

En effet, les sujets agénésiques du corps calleux se révèlent presque totalement incapables d'évaluer la distance

relative entre deux objets dans la tâche expérimentale principale à laquelle ils étaient soumis. Par contre, leur performance à l'oculo-kinésimètre, leur discrimination des figures de Julesz et leur rendement quotidien dans des tâches de perception tridimensionnelle ne diffèrent pas de ceux de sujets normaux. Ces résultats, apparemment contradictoires, nécessitent donc une explication.

Il est fort probable que le bon rendement des agénésiques observés tant à l'oculo-kinésimètre qu'à l'intérieur d'activités journalières nécessitant une bonne intégration tridimensionnelle, soit attribuable à l'usage d'indices monoculaires. Ceux-ci, très nombreux (grandeur relative des objets familiers, effet de la texture, indices induits par les ombres, recouvrement partiel d'un objet par un autre et parallose de mouvement), devraient permettre une bonne discrimination de la profondeur en situation normale.

De plus, il est permis de croire, suite aux résultats obtenus, que tous ces indices monoculaires sont davantage utilisés par les sujets agénésiques du corps calleux que par les sujets normaux. En effet, la performance des sujets acalléux en vision strictement binoculaire est si faible comparativement à leur production en situation coutumière, que ces indices doivent être déterminants.

La réussite de nos sujets acalleux dans une tâche stéréoscopique (patterns de Julesz) et l'échec simultané dans une autre tâche impliquant la perception binoculaire (évaluation de la distance relative de deux objets) nécessitent également une explication. Celle-ci repose sur la distinction établie entre les mécanismes de stéréopsie fine et grossière.

La distinction principale entre les deux processus est basée sur le degré de disparité binoculaire. Ainsi, la stéréopsie fine serait fonctionnelle à l'intérieur d'un bas niveau de disparité en conjonction avec la fusion binoculaire, alors que la stéréopsie globale le serait à partir d'un haut niveau de disparité, créant ainsi une double image. Le rôle premier de la stéréopsie fine serait la vision tridimensionnelle des stimuli, alors que celui de la stéréopsie globale serait un processus beaucoup moins spécifique et plus étendu à l'intérieur du champ visuel. Ainsi, pour que la stéréopsie fine soit possible, il est nécessaire que l'angle visuel entre les stimuli soit faible, alors que la stéréopsie globale est effectuée à partir d'angles visuels supérieurs. De plus, l'information de la stéréopsie globale serait acheminée entre les hémisphères par les voies du corps calleux, alors que le chiasma optique véhiculerait l'information de la stéréopsie fine.

D'une part, les stéréogrammes de Julesz qui sont une tâche de stéréopsie fine, sont concentrés strictement au

champ central à l'intérieur d'un bas niveau de disparité dont l'intégration passe par le chiasma optique. Les structures qui permettent l'utilisation de ce mécanisme sont indemnes chez nos sujets acalleux.

Par ailleurs, il est bon de noter que lors de la discrimination en stéréopsie fine (stéréogrammes de Julesz) l'alignement interoculaire doit être parfait (Julesz, 1971). Une mince imperfection engendre une inefficacité complète par rapport à cette tâche. C'est la raison pour laquelle nous retrouvons un certain pourcentage de gens qui, au départ, ne peuvent discriminer les figures de Julesz. C'est aussi la cause de l'échec chez une partie de nos sujets (2/6) tant normaux qu'agénésiques.

D'autre part, notre tâche de perception binoculaire de la profondeur ferait appel au mécanisme de stéréopsie globale et nos résultats tendent à confirmer que le corps calleux serait responsable de ce type de perception. En effet, les sujets agénésiques ont échoué systématiquement la plupart des sous-tests présentés. Seul le sous-test permettant d'acheminer l'information des deux stimuli à chacun des deux hémisphères (figure 3D) a été partiellement réussi par les sujets. Cette dernière condition semble être la condition requise pour que l'évaluation en stéréopsie globale de la perception de la profondeur soit partiellement efficace chez les sujets acalleux.

Mais comment expliquer l'apport du corps calleux au niveau de la perception de la profondeur? Une étude récente de Payne et al. (1980) permet de répondre à cette question. Cette dernière recherche avait pour but d'explorer certains effets de la section du corps calleux chez le chat. Elle démontre entre autres qu'une telle intervention au niveau cérébral, entraîne une perte importante de cellules binoculaires et devrait donc affecter la perception de la profondeur. Si nous appliquons à l'étude humaine ces résultats, ils permettent d'expliquer les problèmes de discrimination de la profondeur en vision binoculaire observés chez nos sujets acalleux. En effet, l'absence de la structure callosale engendrerait une diminution des cellules binoculaires et, par le fait même, une perception tridimensionnelle très réduite. Cette réduction est si importante qu'elle rend impossible la perception tridimensionnelle en périphérie et même en central périphérique. Seule l'analyse en champ central est possible et cela à un taux très bas de réussite.

Nos résultats permettent donc d'en arriver à deux conclusions principales par rapport à l'évaluation de la perception de la profondeur chez les agénésiques du corps calleux. La première est que l'évaluation de la profondeur est intacte à l'intérieur des limites de la stéréopsie fine. La deuxième est que ce même type de perception est nulle en stéréopsie

grossière à moins que chacun des deux hémisphères ne reçoive toute l'information concernant les stimuli. Dans ce dernier cas, l'acuité visuelle et l'addition de l'information dans les deux hémisphères rendent à ce niveau l'analyse de la profondeur partiellement efficace.

Conclusion

Nos résultats démontrent que l'analyse binoculaire de la profondeur chez les sujets souffrant d'une absence congénitale du corps calleux est considérablement réduite. En effet, les sujets acalleux offrent une performance de beaucoup inférieure aux sujets contrôles à tous les niveaux du champ visuel dans une tâche de stéréopsie grossière. Par contre, la performance des sujets agénésiques dans la discrimination des stéréogrammes de Julesz, une tâche de stéréopsie fine, est identique à celle des sujets contrôles. Enfin, aucune dominance cérébrale n'a pu être observée tant chez le groupe contrôle que chez le groupe expérimental.

Tous ces résultats semblent indiquer que les substrats physiologiques de la stéréopsie grossière et de la stéréopsie fine sont différents.

En effet, nous remarquons un rendement très inférieur en stéréopsie globale en l'absence du corps calleux, alors que la stéréopsie fine ne semble pas affectée par l'absence de cette structure. La stéréopsie globale est partiellement efficace seulement en présentation centrale, ce qui permet d'ailleurs aux deux hémisphères de recevoir chacun toute l'information concernant les stimuli. Cette diminution

de rendement en stéréopsie globale serait par ailleurs attribuable à une réduction considérable de cellules binoculaires déjà rapportée dans les travaux animaux de section du corps calleux.

Par ailleurs, le potentiel d'analyse de la perception tridimensionnelle n'est nullement diminué si les stimuli se situent à l'intérieur des limites de la stéréopsie fine, tout comme le sont les stéréogrammes de Julesz (1971). A ce niveau, l'intégration de l'information passerait par le chiasma optique, structure fonctionnelle chez nos sujets acalleux.

De plus, en situations coutumières, les sujets agénésiques semblent avoir développé une habileté spéciale à employer les mécanismes résiduels d'analyse de la profondeur dont les indices monoculaires, la stéréopsie fine, etc. Ces derniers mécanismes sont très efficaces chez ces sujets puisqu'aucun déficit apparent n'avait été observé comparativement aux sujets normaux.

Appendice A

Liste et ordre de présentation des stimuli

EVALUATION DE LA PERCEPTION DE LA PROFONDEUR

TITRE DU SOUS-TEST: _____

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____

AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____

SEXE: _____ Q.I.: _____

	<u>Série no 1:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1	Pile	D	1) T-A R-D 2) O-S V-G	-----	N 0
2	Triangle	D	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
3	Cuillère	G	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
4	Cube	G	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N 0
5	Tasse	D	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
6	Entonnoir	G	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
7	Bocal*	D	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N 0
8	Bouteille	G	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N 0
9	Baril	G	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
10	Bocal	D	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
11	Chien*	D	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
12	Camion	D	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0

	<u>Série no 1:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
13	Auto	G	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N	0
14	Chat	G	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N	0
15	Cheval*	D	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N	0
16	Balle	G	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N	0

EVALUATION DE LA PERCEPTION DE LA PROFONDEUR

SUITE DU SOUS TEST: _____

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____

AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____

SEXE: _____ Q.I.: _____

	<u>Série no 2:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
1	Baril	G	1) T - AV - G 2) O - AR - D	-----	N	O
2	Pile	D	1) T - AV - G 2) O - AR - D	-----	N	O
3	Triangle	D	1) T - AV - D 2) O - AR - G	-----	N	O
4	Chien*	G	1) T - AR - G 2) O - AV - D	-----	N	O
5	Cheval*	G	1) T - AR - G 2) O - AV - D	-----	N	O
6	Bocal	G	1) T - AV - D 2) O - AR - G	-----	N	O
7	Bouteille	D	1) T - AR - D 2) O - AV - G	-----	N	O
8	Camion	G	1) T - AV - G 2) O - AR - D	-----	N	O
9	Chat	D	1) T - AR - G 2) O - AV - D	-----	N	O
10	Cube	D	1) T - AR - D 2) O - AV - G	-----	N	O
11	Auto	G	1) T - AV - G 2) O - AR - D	-----	N	O
12	Tasse	D	1) T - AV - G 2) O - AR - D	-----	N	O

	<u>Série no 2:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
13	Cuillère	G	1) T - AR - D 2) O - AV - G	-----	N	O
14	Balle	D	1) T - AR - D 2) O - AV - G	-----	N	O
15	Entonnoir	D	1) T - AV - D 2) O - AR - G	-----	N	O
16	Bocal*	G	1) T - AR - G 2) O - AV - D	-----	N	O

EVALUATION DE LA PERCEPTION DE LA PROFONDEUR

SUITE DU SOUS-TEST: _____

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____

AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____

SEXE: _____ Q.I.: _____

	<u>Série no 3:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>
1	Pile	Gauche	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N 0
2	Cuillère	Droit	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N 0
3	Triangle	Droit	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
4	Tasse	Gauche	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N 0
5	Entonnoir	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
6	Bocal*	Droit	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N 0
7	Bouteille	Gauche	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
8	Chien*	Gauche	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N 0
9	Bocal	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0
10	Baril	Droit	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N 0
11	Camion	Gauche	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N 0
12	Auto	Gauche	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N 0

<u>Série no 3:</u>		<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
13	Cube	Droit	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N	0
14	Cheval*	Gauche	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N	0
15	Chat	Gauche	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N	0
16	Balle	Droit	1) T-A R-g 2) O-A V-D	-----	N	0

EVALUATION DE LA PERCEPTION DE LA PROFONDEUR

SUITE DU SOUS-TEST: _____

NOM: _____ DATE DE NAISSANCE: _____

AGE: _____ DATE DE PASSATION: _____

SEXE: _____ Q.I.: _____

	<u>Série no 4:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
1	Pile	Gauche	1) T-A R-D 2) O-S V-G	-----	N	0
2	Triangle	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N	0
3	Cuillère	Droit	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N	0
4	Cube	Gauche	1) T-A V-G 2) O-A R-d	-----	N	0
5	Tasse	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N	0
6	Entonnoir	Gauche	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N	0
7	Bocal*	Droit	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N	0
8	Bouteille	Droit	1) T-A V-G 2) O-A R-d	-----	N	0
9	Baril	Gauche	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N	0
10	Bocal	Gauche	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N	0
11	Chien*	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N	0
12	Camion	Droit	1) T-A R-D 2) O-A V-G	-----	N	0

	<u>Série no 4:</u>	<u>Champ</u>	<u>Position</u>	<u>Distance</u>	<u>Réponse</u>	
13	Auto	Gauche	1) T-A R-G 2) O-A V-D	-----	N	O
14	Chat	Gauche	1) T-A V-G 2) O-A R-d	-----	N	O
15	Cheval*	Droit	1) T-A V-G 2) O-A R-D	-----	N	O
16	Balle	Gauche	1) T-A V-D 2) O-A R-G	-----	N	O

Signification des symboles

* = Objet de grandeur égale
 T = Plus petit
 O = Plus grand
 AR = Arrière
 AV = Avant
 D = Droite
 G = Gauche

Appendice B

Test du "Chi carré" sur les résultats
du groupe expérimental

Test du χ^2 sur les résultats du groupe expérimental

Au sous-test périphérique interhémisphérique

$$\frac{(28-21)^2}{32} + \frac{(38-32)^2}{32} + \frac{(37-32)^2}{32} + \frac{(30-32)^2}{32} + \frac{(38-32)^2}{32} + \frac{(31-32)^2}{32}$$

$$D.L. = 6-1 = 5$$

$$\chi^2 = 4.5$$

$$P < 0.5 \text{ (réponses au hasard)}$$

Au sous-test périphérique intrahémisphérique

$$\frac{(31-32)^2}{32} + \frac{(35-32)^2}{32} + \frac{(38-32)^2}{32} + \frac{(33-32)^2}{32} + \frac{(34-32)^2}{32} + \frac{(31-32)^2}{32}$$

$$D.L. = 6-1 = 5$$

$$\chi^2 = 1.63$$

$$P < 0.9 \text{ (réponses au hasard)}$$

Au sous-test central périphérique

$$\frac{(30-32)^2}{32} + \frac{(28-32)^2}{32} + \frac{(39-32)^2}{32} + \frac{(36-32)^2}{32} + \frac{(40-32)^2}{32} + \frac{(37-32)^2}{32}$$

$$D.L. = 6-1 = 5$$

$$\chi^2 = 5.4$$

$$P < 0.5 \text{ (réponses au hasard)}$$

Au sous-test central

$$\frac{(36-32)^2}{32} + \frac{(36-32)^2}{32} + \frac{(40-32)^2}{32} + \frac{(40-32)^2}{32} + \frac{(45-32)^2}{32} + \frac{(40-32)^2}{32}$$

$$D.L. = 6-1 = 5$$

$$\chi^2 = 12.28$$

$$P < .05 \text{ (réponses non aléatoires)}$$

Appendice C

Résultats bruts aux quatre sous-tests

Tableau 8

Résultats bruts aux quatre sous-tests

Groupe	Sexe	Age	Sujet	Nombre de bonnes réponses sur 64 essais			
				Périphérique Interhémisphérique	Périphérique Intrahémisphérique	Central Périphérique	Central
Agénésiques	M	13	M.R.	28	31	30	36
	F	13	A.M.	39	35	28	36
	F	13	N.L.	37	38	39	40
	M	12	M.G.	30	33	36	40
	F	20	L.G.	39	34	40	45
	F	24	E.C.	31	31	37	40
Contrôles	M	15	J.G.L.	64	58	64	64
	F	13	S.C.	60	58	48	56
	F	14	G.H.	59	46	54	60
	M	14	M.D.	58	52	64	63
	F	14	M.C.	60	52	62	60
	F	27	F.B.	51	42	53	57

Remerciements

L'auteur désire ajouter quelques mots en guise de témoignage de reconnaissance à son directeur de mémoire, Madame Maryse C. Lassonde, Ph.D., pour les judicieux conseils qu'elle a su lui prodiguer. Elle a été pour l'auteur un support essentiel tout au long de la réalisation de ce présent document.

Références

- ALPERS, B.J. (1936). The mental syndrom of the corpus callosum. Archives of neurology and psychiatry, 35, 4, 911-913.
- ANDERMAN, E., ANDERMAN, F., BERGERON, D., LANGEVIN, P., NAGY, R., BERGERON, J. (1979). Familial agenesis of the corpus callosum with sensory-motor neuropathy: Genetic and epidemiological studies of over 170 patients. Canadian journal of neurological sciences, 6, 3, 400.
- ANDERMAN, E., ANDERMAN, F., JOUBERT, M., MELANCON, D., KARPALI, G., CARPENTER, S. (1975). Three familial mid-line malformation syndromes of the central nervous system: agenesis of the corpus callosum and anterior horn-cells disease; agenesis of the cerebellar vermis and atrophy of the cerebellar vermis. Birth defects, 11 (2), 269-293.
- AUROUX, M. (1966). Les commissures télencéphaliques, leurs variations et leurs suppléances. Bulletin de l'association des anatomistes (Nancy), 51e réunion, Marseille, 3-7 avril, 117-122.
- BARR, M.L. (1972). The human nervous system: an anatomical viewpoint. New York: Harper & Row.
- BLAKEMORE, C. (1969). Binocular depth discrimination and the nasotemporal division. Journal physiology, 205, 471-497.
- 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, 1765-1769.
- BOSSY, J.G. (1970). Morphological study of a case of complete isolated and asymptomatic agenesis of the corpus callosum. Archives d'anatomie, d'histologie et d'embryologie (Strasbourg), 53, 289-340.
- BREMER, F., BRITTAGE, J., ANDRE-BALISAUX, G. (1956). Physiologie et pathologie du corps calleux. Schweizer archiv fur neurologie und psychiatrie, 78, 31-87.
- BRIDGMAN, C.S., SMITH, K.U. (1945). Bilateral neural integration in visual perception after section of corpus callosum. J. comp. neurol., 83, 57.

- BRION, S., JEDYNAK, C.P. (1975). Les troubles de transfert inter-hémisphériques. Rapport de neurologie. Bruxelles: Masson & Cie.
- BROCA, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé. Bulletin sociologique d'anthropologie, 6, 337-339.
- BRYDEN, M.P., ZURIFF, E.B. (1970). Dichotic listening performance in a case of agenesis of the corpus callosum. Neuropsychologia, 8, 371-377.
- CHIARELLO, C. (1980). A house divided? Cognitive functioning with callosal agenesis. Brain and language, 11, 128-158.
- CRAMER, F. (1936). Clinical diagnosis of tumors of the corpus callosum. Bulletin of the neurological institute of New York, 5, 376.
- DAY, R. (1969). Dichotic testing of split-brain patients. New York: Wiley.
- DENNIS, M. (1976). Impaired sensory and motor differentiation with corpus callosum agenesis: a lack of callosal inhibition during antogeny. Neuropsychologia, 14, 4, 455-469.
- DURNFORD, M., KIMURA, D. (1971). Right hemisphere specialization for depth perception reflected in visual field differences. Nature, vol. 231, 394-395.
- 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. (1974). Agensis of corpus callosum: a behavioral investigation. Brain, 95, 327-346.
- FERRISS, G.S., DORSEN, M.M. (1975). Agensis of corpus callosum. Neuropsychological studies. Cortex, 11, 2, 95-122.
- GAZZANIGA, M.S. (1967). The split-brain in man. Science american, 217, 14-29.
- GAZZANIGA, M.S. (1970). Le cerveau dédoublé. Coll. "Psychologie et sciences humaines". Bruxelles: Dessart et Mardaga.

- GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E., SPERRY, R.W. (1962). Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man. Proceedings of the national academy of sciences, 48, 1765-1769.
- GAZZANIGA, M.S., SPERRY, R.W. (1967). Language after section of the cerebral commissures. Brain, 90, 131-148.
- GIBSON, J.J. (1950). The perception of the visual world. Boston: Houghton.
- GROGONO, J.L. (1968). Children with agenesis of corpus callosum. Developmental medicine and child neurology, 10, 613-616.
- HALL, M.M., HALL, G.C., LAVOIE, P. (1968). Ideation in patients with unilateral or bilateral midline brain lesions. J. abnorm. psychol., 73, 526-531.
- HARNER, R.N. (1977). Agenesis of the corpus callosum and associated defects. Edited by Eli S. Goldensohn, Stanley H. Appel. Philadelphia: Lea and Febiger.
- JEEVES, M.A. (1965). Psychological studies of three cases of congenital agenesis of the corpus callosum. In Functions of the corpus callosum, vol. 20, Ciba Foundation study groups. London: Churchill.
- JULESZ, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University Press.
- KAROL, E.A., PANDYA, D.N. (1971). The distribution of the corpus callosum in the rhesus monkey. Brain, 94, 471-476.
- KIMURA, D. (1966). Dual functional asymmetry of the brain in visual perception. Neuropsychologia, 4, 275-285.
- KIMURA, D. (1967). Functional asymmetry on the brain in dichotic listening. Cortex, 3, 163-178.
- KIMURA, D. (1973). The asymmetry of the human brain. Scientific american, 228 (3), 70-78.
- LASSONDE, M. (en préparation). Rapport de recherche sur l'agenésie du corps calleux.

- LASSONDE, M.C., LORTIE, J., PERRON, A., PTITO, M. (1980). Dichotic listening in children suffering from agenesis of the corpus callosum. Society for neuroscience abstract, 5.
- LEHMAN, H.J., LAMPE, H. (1970). Observations of the inter-hemispheric transmission of information in 9 patient with corpus callosum defect. European neurology, 4, 129-147.
- LOESER, S.D., ALVORD, E. Jr. (1968). Agenesis of corpus callosum. Brain, 91, 553-570.
- LUTHE, W. (1976). Lettres d'informations sur les aspects neurofonctionnels et l'éducation. Tome I. Centre de développement en environnement scolaire.
- MAC KAY, D.M. (1966). Brain and conscious experience. In Eccles, J.C., Ed., Brain and conscious experience. Berlin: Springer-Verlag.
- MENKES, J.H., PHILLIPPART, M., CLARK, D.B. (1964). Hereditary partial agenesis of the corpus callosum. Archives of neurology, 11, 198-208.
- MILNER, A.D., JEEVES, M.A. (1979). A review of behavioural studies of agenesis of the corpus callosum. In Structure and function of cerebral commissures, S.I. Russell, M.W. Van Hof, G. Berlucchi, Eds. Baltimore: University Park Press.
- MITCHELL, D.E., BLAKEMORE, C. (1970). Binocular depth perception and the corpus callosum. Vision research, 10, 49-54.
- MYERS, R.E. (1956). Function of the corpus callosum in interocular transfer. Brain, 79, 358-363.
- MYERS, R.E. (1959). Localization of function in the corpus callosum. Archives of neurology, 1, 74-77.
- MYERS, R.E., SPERRY, R.W. (1958). Interhemispheric communication through the corpus callosum. Archives of neurology and psychiatry, 80, 298-303.
- NAIMAN, J., FRASER, F.C. (1955). Agenesis of the corpus callosum. A report of two cases in siblings. Archives of neurology and psychiatry, 74, 182-185.
- OUELLET, J. (1981). La perception de la profondeur chez les agénésiques du corps calleux. Mémoire de maîtrise présenté à l'Université du Québec à Trois-Rivières.

- PAYNE, B.R., ELBERGER, J.A., BERMAN, N., MURPHY, E.H. (1980). Binocularity in the cat visual cortex in reduced by sectioning the corpus callosum. Science, 207, 1097-1099.
- RAYMOND, F., LEJONNE, P., L'HERMITTE, J. (1906). Tumeurs du corps calleux. Encéphale, 1 (6), 533-565.
- RIEBER, R.W. (1976). The neuropsychology of language. New York: Plenum Press.
- ROHLF, J., SOKAL, R.R. (1969). Statistical tables.
- ROHMER, F., WACKENHEIM, A., VROUSOS, C. (Ed.) (1959). Rapport du congrès de psychiatrie et de neurologie. Paris: Masson.
- RUSSEL, J.R., REITAN, R.M. (1955). Psychological abnormalities in agenesis of the corpus callosum. Journal of nervous and mental diseases, 121, 205-214.
- SAUL, R.E., SPERRY, R.W. (1968). Absence of commissurectomy symptoms with agenesis of corpus callosum. Neurology, 18, 307.
- SAUWEIRN, H. (1978). Les mécanismes compensatoires de transfert interhémisphériques chez deux agénésiques du corps calleux. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- SHAPIRO, L., COHEN, T. (1973). Agenesis of corpus callosum in two sisters. Journal of medical genetics, 10, 266-269.
- SOLURSH, L.P., MARGULUS, I., ASHEM, B., STASIAK, E.A. (1965). The relationships of agenesis of the corpus callosum to perception and learning. Journal of nervous and mental disease, 141, 180-189.
- SPERRY, R.W. (1958). Corpus callosum and interhemispheric transfer in the monkey. Anatomical record, 131, 297.
- SPERRY, R.W. (1964). The great cerebral commissure. Science american, 210, 42.
- SPERRY, R.W. (1968a). Hemisphere disconnection and unity in conscious awareness. American psychology, 23, 723-733.
- SPERRY, R.W. (1968b). Plasticity of neural maturation. Devl. biol. suppl., 2, 306-327.

- SPERRY, R.W., GAZZANIGA, M.S. (1967). Language after section of the cerebral commissure. Brain, 90, 131-148.
- SPERRY, R.W., GREEN, S.M. (1964). Corpus callosum and perceptual integration of visual half fields. Anatomical record, 148, 339.
- SPERRY, R.W., GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E. (1969). Interhemispheric relationships: the neocortical commissures; syndromes of hemispheric disconnection. In P.J. Vinken et G.W. Bruyn (Eds): Handbook of clinical neurology, vol. IV (pp. 273-280). Amsterdam: North Holland Publishing Co.
- WAGENEN, W.P., HERREN, R.Y. (1940). Surgical division of commissural pathways in corpus callosum: relation to spread of epileptic attack. Archs. neurol. psychiat., 44, 740-759.
- WAHLSTEN, D. (En préparation). Deficiency of corpus callosum varies with strain and supplies of the mice.
- YACOVLEV, P.I., LECOURS, A.R. (1967). The myelogenetic cycles of regional maturation in the brain. In A Minkowski (Ed.): Regional development of the brain in early life (pp. 3-70). Oxford: Blackwell.