

Université de Montréal

**Comparaison de quatre tests de stéréoscopie chez des enfants de
deux à cinq ans**

Par
France Richard

École d'optométrie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès science (M.Sc.)
en sciences de la vision

juillet 2004

© France Richard



WW

5

U58

2004

v.001

Direction des bibliothèques

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

**Comparaison de quatre tests de stéréoscopie chez des enfants de
deux à cinq ans**

présenté par :

France Richard

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

M. Benoît Frenette
Président-rapporteur

M. Jacques Gresset
Directeur

Mme Danielle de Guise
Codirectrice

M. Christian Casanova
Membre du jury

RÉSUMÉ

Selon des estimations conservatrices, le strabisme ou l'amblyopie s'observe cliniquement chez un patient sur vingt. L'obtention de la fusion sensorielle et le développement de la stéréopsie sont les résultats souhaités d'un traitement d'orthoptique. Répéter le même test au cours de la thérapie permet souvent aux patients d'apprendre les réponses. Afin d'éviter ce problème, certains cliniciens varient les tests utilisés. Ceci introduit un autre problème qui réside dans la comparaison des seuils d'acuité stéréoscopique des différents tests. L'objectif de la présente étude est la comparaison des taux de passation et des seuils de quatre tests de stéréoscopie : le Randot préscolaire, le test de Lang, le test de Frisby et les formes du *Randot Stereotest* chez des enfants âgés de deux à cinq ans. Cette étude évalue aussi l'impact de l'apprentissage et du port de lunettes polarisées sur le taux de passation des tests de même que l'amélioration des seuils d'acuité stéréoscopique avec l'âge.

Un dépistage visuel comprenant les quatre tests de stéréoscopie, une évaluation de l'acuité visuelle à l'aide de la charte de Léa, une ophtalmoscopie, une rétinoscopie, un test écran et les motilités oculaires a été effectué chez 152 enfants âgés entre 2 et 5 ans. Les enfants étaient divisés en quatre groupes relativement égaux : les deux, trois, quatre et cinq ans. Nos résultats indiquent que le test de Lang présente un meilleur taux de passation chez les enfants de deux ans par rapport aux trois autres tests de stéréoscopie. Pour les enfants de trois ans, le taux de passation du test de Lang demeure supérieur à celui de Frisby. À partir de l'âge de quatre ans, les quatre tests présentent tous d'excellents taux de passation. L'apprentissage semble

influencer positivement la passation des tests des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire chez les sujets de deux et trois ans. Enfin, une amélioration des seuils de stéréoscopie a été notée avec l'âge. D'un point de vue clinique, il faut donc garder à l'esprit l'âge de l'enfant examiné afin de sélectionner le test de stéréoscopie le plus adéquat et de fixer nos attentes quant au seuil d'acuité stéréoscopie mesuré.

Mots clés : stéréoscopie,
enfants,
Randot Stereotest,
Lang,
Frisby,
pédiatrique.

ABSTRACT

Strabismus and amblyopia can be seen in one patient out of twenty. Sensory fusion and stereoscopy development are the main goals of visual training. Repetition of the same tests allows the patient to become familiar with it and to memorize the answers. To avoid this problem, some clinicians vary the tests. This may introduce the question of the comparison of the stereoscopic thresholds across the different tests. The purpose of this study is to compare the completion rates and the thresholds obtained with four stereoscopic tests : Lang, Frisby, Randot forms and Randot Preschool. This study investigate as well the impact of the training and the wearing of stereoscopic glasses on completion rates of the different tests and the improvement of the stereoscopic thresholds with age.

Visual screening, including visual acuity with the Lea chart, ophthalmoscopy, retinoscopy, cover test and ocular motilities was done prior to testing the four stereoscopic tests. One hundred and fifty-two children aged from two to five years old participated in the study. The population was divided into four relatively equal groups: two, three, four and five years of age. The Lang test seems to be the easiest to perform for the group of two years old. For the three year old group, the Lang test is still superior to the Frisby test. At four years of age, the tests present similar results. The training session seems to positively influence the results of both the Randot forms and Randot Preschool Stereotests for the two and three year olds. The thresholds improve with age. You have to keep in mind the age of the child

examined to select the stereoscopic test that is more appropriate and to know the threshold to expect.

Key words: Stereoscopy,
Children,
Randot Stereotest,
Lang,
Frisby,
Pediatric.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	III
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES.....	XI
REMERCIEMENTS	XII
1 INTRODUCTION	1
1.1 LA VISION STÉRÉOSCOPIQUE	1
1.1.1 Seuil d'acuité stéréoscopique	1
1.1.2 Évaluation de la stéréoscopie	3
1.1.3 Stéréogrammes de points aléatoires (SPA)	6
1.1.4 Stéréoscopie locale et globale	8
1.1.5 Facteurs influençant la mesure du seuil de stéréoscopie	9
1.1.5.1 Facteurs liés aux tests	9
1.1.5.1.1 La perception de la profondeur par rapport à la discrimination de la forme.....	9
1.1.5.1.2 Facteurs influençant la figure et le fond	10
1.1.5.1.3 Indices monoculaires	10
1.1.5.1.4 Utilisation de lunettes rouge-vert ou polarisées	11
1.1.5.1.5 Éclairage.....	11
1.1.5.2 Facteurs liés au sujet.....	12
1.1.5.2.1 Strabisme	12
1.1.5.2.2 Amblyopie	13
1.1.5.2.3 Acuité visuelle.....	14
1.1.5.2.4 Aniseiconie	15
1.1.5.2.5 Âge	15
1.2 MESURES DE LA STEREOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE	16
1.2.1 Méthodes de mesures de la stéréoscopie chez le nourrisson.....	16
1.2.2 Âge d'apparition de la stéréoscopie	16
1.2.3 Amélioration de la stéréoscopie avec l'âge.....	17

2	TESTS DE STEREOSCOPIE À L'ÉTUDE	22
2.1	RANDOT PRÉSCOLAIRE	22
2.1.1	Description	22
2.1.2	Acuités stéréoscopiques mesurables	23
2.1.3	Procédure.....	23
2.1.4	Données concernant le Randot préscolaire	23
2.1.4.1	Taux de succès.....	23
2.1.4.2	Choix des formes présentes dans le test	24
2.1.4.3	Efficacité du Randot préscolaire pour le dépistage d'anomalies visuelles.....	26
2.2	TEST DE FRISBY.....	27
2.2.1	Description	27
2.2.2	Acuités stéréoscopiques mesurables	28
2.2.3	Procédure.....	29
2.2.4	Données concernant le test de Frisby.....	31
2.2.4.1	Réussite du test chez les jeunes enfants	31
2.2.4.2	Temps d'administration du test de Frisby	31
2.2.4.3	Précautions à prendre lors de l'administration du test de Frisby	32
2.2.4.3.1	Distance du test	32
2.2.4.3.2	Réflexions.....	32
2.2.4.4	Seuils d'acuités stéréoscopiques mesurés à l'aide du Frisby	33
2.2.4.5	Versions modifiées du test de Frisby	33
2.2.4.5.1	Test de Frisby : version utilisant une lumière clignotante avec le test conventionnel.....	34
2.2.4.5.2	Test de Frisby : version utilisant un choix forcé à deux items	34
2.3	<i>RANDOT STEREOTEST</i>	35
2.3.1	Description	35
2.3.2	Acuités stéréoscopiques mesurables	36
2.3.3	Procédure.....	36
2.3.4	Données concernant les formes du <i>Randot Stereotest</i>	37
2.4	TEST DE LANG.....	37
2.4.1	Description	37
2.4.2	Acuités stéréoscopiques mesurables	39
2.4.3	Procédure.....	40
2.4.4	Données concernant le Lang	40
2.4.4.1	Réussite du test chez les jeunes enfants	40
2.4.4.2	Efficacité du test pour le dépistage d'anomalies visuelles	41
2.4.4.3	Effets des déficits visuels sur la réussite du test.....	43

3	OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	44
4	BUT DE L'ÉTUDE	46
5	MÉTHODE ET MATÉRIEL	48
5.1	SUJETS.....	48
5.2	PROCÉDURE.....	49
5.2.1	Randot préscolaire.....	50
5.2.2	Test de Frisby	51
5.2.3	Formes du <i>Randot Stereotest</i>	51
5.2.4	Test de Lang	52
6	RÉSULTATS	54
6.1	DONNÉES CONCERNANT LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE	54
6.2	DONNÉES CONCERNANT LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'APPRENTISSAGE POUR LES DEUX, TROIS, QUATRE ET CINQ ANS	58
6.3	COMPARAISON DES TAUX DE PASSATION DES TESTS NÉCESSITANT LE PORT OU NON DE LUNETTES POLARISÉES POUR LES DEUX, TROIS, QUATRE ET CINQ ANS.....	60
6.4	COMPARAISON DES SEUILS D'ACUITÉ STÉRÉOSCOPIQUE POUR LES TESTS DE STÉRÉOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE.....	62
6.5	IMPACT DE L'ÉLIMINATION DE CERTAINS SUJETS AYANT UN PROBLÈME RÉFRACTIF ET OU BINOCULAIRE DE LA BANQUE DE DONNÉES SUR LA PASSATION DES TESTS.....	64
7	DISCUSSION.....	69
7.1	RÉSUMÉ DES RÉSULTATS.....	69
7.2	PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE.....	69
7.3	IMPACT DE L'APPRENTISSAGE SUR LE TAUX DE PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE	73
7.4	IMPACT DU PORT DE LUNETTES POLARISÉES SUR LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE	76
7.5	SEUILS D'ACUITÉ STÉRÉOSCOPIQUE POUR LES TESTS DE STÉRÉOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE	77
8	CONCLUSION.....	79
	BIBLIOGRAPHIE	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Seuil de l'acuité stéréoscopique en fonction de l'âge.	18
Tableau II	Dessins analysés pour la conception du Randot préscolaire	25
Tableau III	Disparité en fonction de la distance avec le test de Frisby.....	28
Tableau IV	Distribution de l'échantillon en fonction du sexe et de l'âge.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Illustration du concept de disparité croisée.	2
Figure 2	Perception de la profondeur par l'intégration de deux images différentes pour l'œil droit et l'œil gauche.....	3
Figure 3	Illustration d'un stéréogramme conventionnel.....	4
Figure 4	Illustration du test de Titmus (stéréogramme conventionnel).....	5
Figure 5	Conception d'un stéréogramme par points aléatoires	7
Figure 6	Randot préscolaire.....	22
Figure 7	Taux de succès du Randot préscolaire comparativement à ceux des formes du <i>Randot Stereotest</i> et du Lang.	24
Figure 8	Plaque du test de Frisby.....	27
Figure 9	Enfant effectuant le test de Frisby.....	30
Figure 10	Illustration des formes présentes dans le Randot Stereotest.....	35
Figure 11	Test de Lang II	38
Figure 12	Principe de réseaux des demi-cylindres du test de Lang.....	39
Figure 13	Organigramme de la répartition des sujets.....	54
Figure 14	Taux de passation pour le groupe des deux ans	55
Figure 15	Taux de passation pour le groupe des trois ans	56
Figure 16	Taux de passation pour le groupe des quatre ans	57
Figure 17	Taux de passation pour le groupe des cinq ans	57
Figure 18	Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des deux ans :.....	58
Figure 19	Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des trois ans.....	59
Figure 20	Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des quatre ans.....	60
Figure 21	Taux de passation des tests avec et sans lunettes polarisées en fonction de l'âge.....	62
Figure 22	Seuils d'acuité stéréoscopique en fonction de l'âge pour les quatre tests.....	63
Figure 23	Effet sur la passation de l'exclusion d'un enfant présentant des anomalies binoculaires et réfractives sur le groupe des deux ans	65
Figure 24	Effet sur la passation de l'exclusion d'enfants présentant des anomalies réfractives sur le groupe des trois ans	66
Figure 25	Effet sur la passation de l'exclusion d'un enfant présentant des anomalies binoculaires et réfractives sur le groupe des quatre ans.....	68

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer ma gratitude au directeur de mon projet, le docteur Jacques Gresset, pour son soutien ainsi que ses précieuses connaissances qu'il a su me transmettre durant l'élaboration de ce mémoire.

J'aimerais également remercier le docteur Danielle de Guise pour son appui ainsi que ses judicieux conseils.

De plus, j'aimerais remercier les membres de mon jury, les enfants ayant participé à cette étude, ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon projet de recherche.

Enfin j'aimerais remercier les membres de ma famille immédiate pour l'encouragement qu'ils m'ont toujours manifesté durant mes études.

1 INTRODUCTION

1.1 LA VISION STÉRÉOSCOPIQUE

Un objet fixé de façon binoculaire n'est pas vu sous le même angle par chacun des yeux. Cette différence d'angle entre ce qui est vu par chaque oeil s'appelle la parallaxe binoculaire. Elle entraîne une différence entre les deux images rétiniennes qui est la disparité binoculaire. Celle-ci est à l'origine de la sensation de relief. En effet, la fusion de ces éléments disparates (décalés horizontalement) résulte en la perception d'une seule image qui semble en profondeur, la vision stéréoscopique. En 1838, Wheatstone fut le premier à reconnaître que la stéréopsie se produit lorsque des éléments rétiniens disparates horizontalement sont stimulés simultanément.

1.1.1 SEUIL D'ACUITÉ STÉRÉOSCOPIQUE

Le seuil d'acuité stéréoscopique est la plus petite disparité binoculaire qui peut être détectée à un niveau donné d'exactitude (généralement 75%). Le sujet doit être en mesure, par exemple, de répondre correctement à trois présentations sur quatre à un niveau donné de disparité binoculaire.

La mesure clinique de la plus petite profondeur stéréoscopique visible (acuité stéréoscopique) est quantifiée par un angle (n) qui est égal à la différence entre les angles visuels longitudinaux (α_1 et α_2) ou les angles parallaxes (δ_1 et δ_2) tels qu'illustré dans la figure 1.

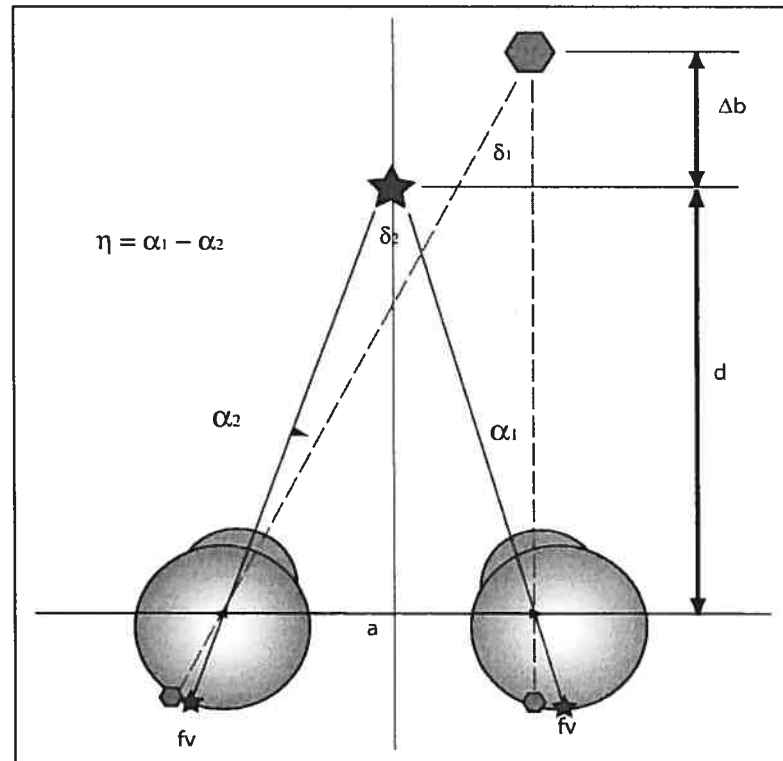


Figure 1 Illustration du concept de disparité croisée.
(modifiée de Adler's physiology of the eye, 2003)

Le « n » peut être dérivé directement des différences angulaires de la position des deux objets (dans l'exemple présenté à la figure 1, l'étoile et l'hexagone). La disparité rétinienne associée avec la profondeur physique d'un objet en vision normale peut être déterminée par la formule suivante:¹

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \frac{a - \Delta b}{d^2} \text{ rad}$$

- α_2 angle visuel longitudinal de l'œil gauche
- α_1 angle visuel longitudinal de l'œil droit
- a distance inter-pupillaire
- Δb distance séparant les deux objets (étoile et hexagone dans la figure 1)
- d distance séparant l'objet le plus près des yeux du plan pupillaire

Cette équation montre, pour une distance de fixation donnée, que la relation entre l'intervalle de profondeur et la disparité rétinienne est linéaire, mais que la relation varie entre les distances de fixation par le carré de la distance.

1.1.2 ÉVALUATION DE LA STÉRÉOSCOPIE

L'observation d'un cube avec les deux yeux est un exemple concret de stéréopsie. En effet, un cube placé dans le plan médian du visage n'est pas vu sous le même angle par les deux yeux produisant ainsi des images différentes. La fusion sensorielle de ces deux images rétiniennes inégales résulte en perception de la profondeur (voir figure 2).

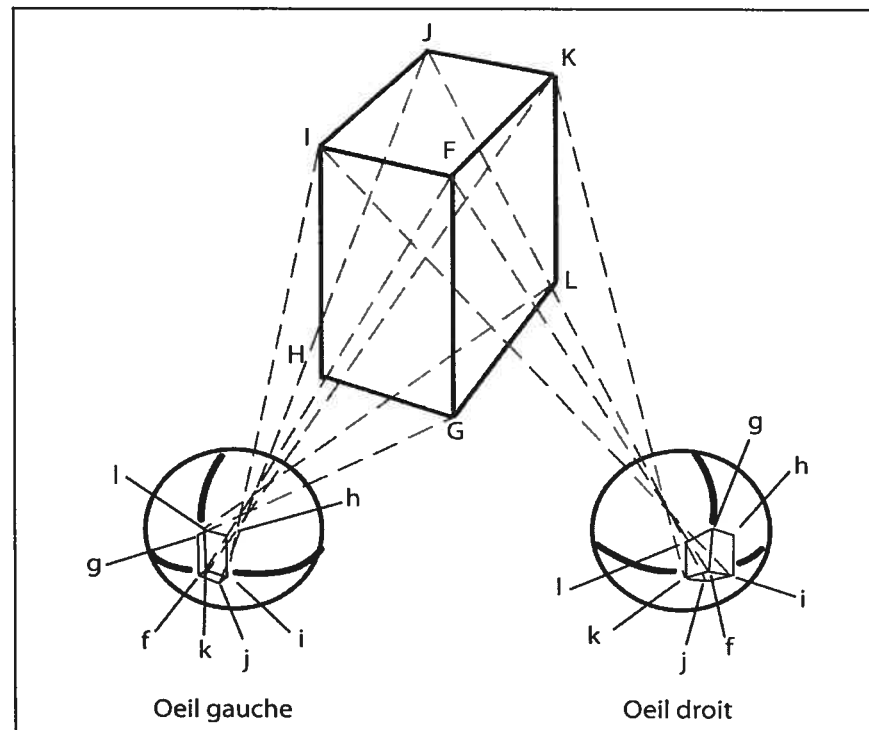


Figure 2 Perception de la profondeur par l'intégration de deux images différentes pour l'œil droit et l'œil gauche (modifiée de Adler's physiology of the eye, 2003)

Un effet stéréoscopique peut aussi être obtenu par des images en deux-dimensions. Certains éléments de ces images sont perçus sur des éléments rétiniens correspondants afin de donner le cadre de référence de la localisation relative de la perception de la profondeur. D'autres éléments des images sont placés quant à eux pour produire une disparité horizontale. Un exemple de ce concept est illustré par la figure 3. Cet exemple utilise un stéréoscope pour créer la perception de la profondeur. Le grand dictionnaire terminologique décrit un stéréoscope comme étant

- « ...est un appareil permettant, à l'aide de tubes, de miroirs, ou d'un écran placé entre les deux yeux, de présenter à chaque oeil une des images d'un couple d'images disparates afin de produire une impression de relief par la fusion de ces deux images». ²

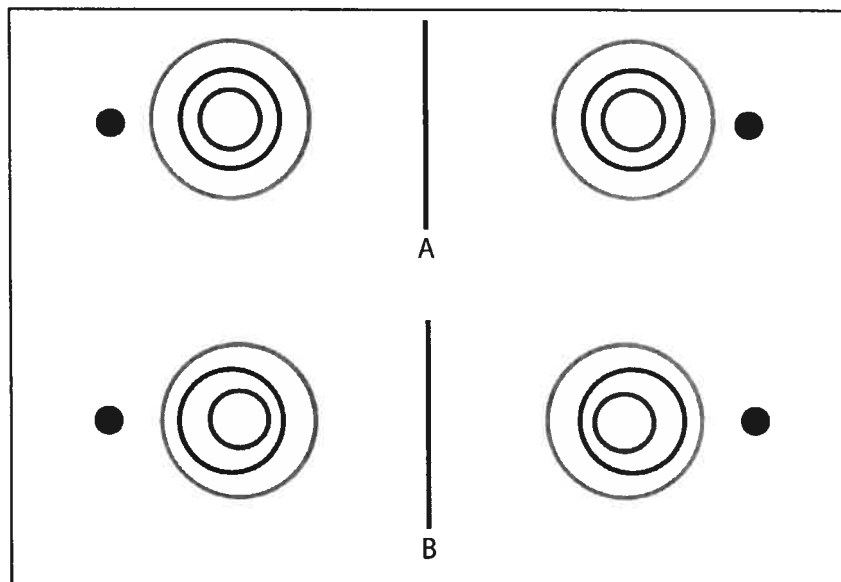


Figure 3 Illustration d'un stéréogramme conventionnel.
(modifiée de Adler's physiology of the eye, 2003)

Par conséquent, si trois cercles concentriques sont présentés à chaque œil dans un stéréoscope, aucun effet de profondeur ne sera perçu (figure 3A). Par contre, si les

cercles du centre sont décalés vers l'extérieur ou l'intérieur (figure 3B), ils vont être fusionnés en un unique ensemble de cercles concentriques dont l'un paraît « flottant » par rapport aux deux autres. Chaque cercle tombe sur des éléments rétiens correspondants (dont l'excitation simultanée donne la sensation d'une source unique extérieure).

Cliniquement, certains tests de stéréoscopie utilisent ce principe; les points de Wirt avec lunettes polarisées ou rouge-vert en sont un exemple. Ils contiennent neuf patrons en diamants, chacun contenant quatre cercles ou points dont l'un est vu en profondeur. Les disparités de profondeur varient de huit cents à quarante secondes d'arc.



Figure 4 Illustration du test de Titmus (stéréogramme conventionnel)

La question est de savoir si le cerveau doit comparer les images formées sur chaque rétine avant de pouvoir utiliser la disparité binoculaire pour la convertir en sens de la profondeur. La réponse à cette question a été fournie par Julesz³ via son invention des stéréogrammes à motifs aléatoires (*Random Dot Stereogram*). Lorsqu'ils sont

inspectés de façon monoculaire, ils ne contiennent aucune information visuelle autre que des motifs aléatoires. Ils ne contiennent aucune information de contour. Cependant, une image apparaît en profondeur quand ils sont fusionnés. De plus, puisque l'image est vue seulement par sa sensation de profondeur, la reconnaissance de patrons monoculaires n'est pas nécessaire à la stéréopsie. En ajustant la disparité entre les motifs de points aléatoires, le niveau de stéréopsie peut être mesuré.⁴ Cliniquement, plusieurs tests utilisent ce principe. C'est le cas des tests de Lang, de Frisby, du Randot préscolaire et des formes du *Randot Stereotest*. Ces tests seront décrits à la section présentation des quatre tests de stéréoscopie à l'étude.

1.1.3 STÉRÉOGRAMMES DE POINTS ALÉATOIRES (SPA)

La création de stéréogrammes de points aléatoires⁴ nécessite l'utilisation d'un patron de points aléatoires qui peut être réalisé par une variété de techniques photographiques. Une figure est découpée du patron pour ensuite être superposée à un arrière plan de même texture. Elle est ensuite photographiée, déplacée latéralement d'un montant correspondant à la disparité désirée, et photographiée de nouveau. Lorsque vue à l'aide d'un stéréoscope, la figure ainsi créée apparaît en profondeur. La difficulté de cette méthode est qu'il est difficile de masquer totalement les bords de la figure de sorte qu'ils soient camouflés lorsque le stéréogramme est inspecté de façon monoculaire.

Les motifs des SPA sont formés de lignes, de points ou d'autres patrons similaires qui lorsque fusionnés donnent une forme stéréoscopique centrale. La stéréoscopie est le

résultat d'un déplacement latéral des points centraux. Une analyse attentive des SPA montre que les stéréogrammes sont composés de trois zones distinctes. Ceci est démontré dans la figure 5.

1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	A	B	B	A	X	0	0	1
0	1	0	B	A	B	A	N	0	1	1
1	0	0	B	A	A	B	N	1	0	0
1	0	1	A	B	B	A	X	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0

1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	X	A	B	B	A	0	0	1
0	1	0	N	B	A	B	A	0	1	1
1	0	0	N	B	A	A	B	1	0	0
1	0	1	X	A	B	B	A	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0

Figure 5 Conception d'un stéréogramme par points aléatoires

La première zone est un arrière plan composé des 1 et des 0. Elle est vue par les deux yeux et fusionnée binoculairement. La deuxième zone résulte d'un déplacement latéral central qui crée une disparité latérale. Elle est composée des A et des B. La troisième zone vient d'un déplacement latéral de la région centrale qui crée une zone non correspondante. Elle est composée des X et des N.

La matrice de 11 cases par 11 cases montrée à la figure 5 est un exemple de SPA composée des trois zones décrites précédemment. Lorsque l'image de l'œil gauche est fusionnée avec celle de l'œil droit un rectangle central apparaît « flottant » (fait des A+B).

1.1.4 STÉRÉOSCOPIE LOCALE ET GLOBALE

La stéréoscopie n'est habituellement pas évaluée à l'aide de stimuli en profondeur réelle. En effet, la plupart des tests cliniques de stéréopsie utilisent des stéréogrammes avec des contours définis ou des points aléatoires. Les stéréogrammes avec des contours définis font référence à la stéréoscopie locale par rapport à ceux de points aléatoires qui font référence à la stéréoscopie globale.

Les stéréogrammes qui testent la stéréoscopie locale utilisent des figures de haut contraste qui ont des disparités qui peuvent être détectées par tous les patients présentant une vision binoculaire normale. Ces stéréogrammes permettent de différencier la vision binoculaire normale de celle anormale. Par contre, ce type de stéréogramme renferme invariablement des indices monoculaires qui sont visibles dans les cibles avec de grandes disparités. Ces indices peuvent permettre de discriminer la profondeur à l'aide d'information non stéréoscopique.

La conception des stéréogrammes de points aléatoires, qui testent la stéréoscopie globale, élimine pratiquement tous les indices non stéréoscopiques. L'image ainsi créée est plus difficile à voir de façon monoculaire que dans le cas d'un stéréogramme qui teste la stéréoscopie locale. Grâce à cette particularité, la stéréopsie globale est un processus d'intégration neurale plus complexe que celui de la stéréopsie locale⁴ De plus, les stéréogrammes qui testent la stéréoscopie globale sont considérés préférables à ceux qui testent la stéréoscopie locale parce qu'ils ne contiennent pas d'indices monoculaires, de contours ou de déplacements latéraux.^{5,6,7}

Conséquemment, ils fournissent des mesures valides d'acuités stéréoscopiques.⁸ Un exemple de stéréogramme qui teste la stéréoscopie globale est montré à la figure 4. Un exemple de stéréogramme qui évalue la stéréoscopie locale est illustré à la figure 3.

1.1.5 FACTEURS INFLUENÇANT LA MESURE DU SEUIL DE STÉRÉOSCOPIE

1.1.5.1 Facteurs liés aux tests

1.1.5.1.1 La perception de la profondeur par rapport à la discrimination de la forme

Over et Long⁹ ont fait une étude sur la vision stéréoscopique alors qu'ils embrouillaient la vision des patients. Ils ont trouvé qu'il est possible d'apprécier la profondeur dans un stéréogramme de type Julesz en l'absence de perception d'une figure claire. Conséquemment, un test qui nécessite exclusivement de percevoir la profondeur devrait être réussi à des niveaux plus fins de stéréoscopie qu'un test qui nécessite la discrimination des formes en plus de la perception de la profondeur. Par contre, selon une étude de Simons¹⁰ comparant les performances d'enfants à différents tests de stéréoscopie, certains nécessitant la perception de la profondeur et d'autres requérant au surplus l'identification de formes, la prédiction selon laquelle un test qui nécessite exclusivement la perception de la profondeur pourrait être réussi à des niveaux plus fins de stéréoscopie qu'un test qui requiert au surplus l'identification de formes s'avère fautive. D'autres différences dans la conception des différents tests sembleraient influencer les résultats.

1.1.5.1.2 Facteurs influençant la figure et le fond

Il a été démontré avec le test des bâtonnets de Howard-Dolman que plus les bâtonnets latéraux sont éloignés du bâtonnet central, plus l'acuité stéréoscopique diminue.¹¹ Dans les SPA, tels le Randot préscolaire ou les formes du *Randot Stereotest*, la structure des points est dense et les contours de la figure stéréoscopique sont vus directement adjacents à ceux du fond ce qui facilite la perception de la stéréoscopie.^{12,13} Dans le cas du test de Frisby les éléments aléatoires (triangles) sont largement espacés de sorte que les contours de la forme stéréoscopique ne sont pas adjacents au patron du pourtour ce qui rend la stéréoscopie plus difficile à apprécier.^{14,15} Selon Simons,^{10,16} comparant quatre tests de stéréoscopie, le test de Frisby obtiendrait des acuités stéréoscopiques plus faibles que les autres à cause de ce grand espacement.

1.1.5.1.3 Indices monoculaires

Selon une étude de Frisby et collaborateurs,¹⁵ l'addition de contours visibles de façon monoculaire aux SPA améliore les performances des disparités moyennes chez les patients ayant une vision binoculaire réduite. Ils ont utilisé des SPA expérimentaux faits de points aléatoires, ayant ou non des contours visibles. Richards,¹⁷ dans une étude similaire, arrive aux mêmes conclusions. De plus, une autre étude de Simons¹⁰ démontre que l'addition de contours visibles de façon monoculaire améliore les performances chez les enfants strabiques et amblyopes.

1.1.5.1.4 Utilisation de lunettes rouge-vert ou polarisées

Simons et Elhatton^{18 19} ont utilisé un test de stéréoscopie utilisant des lunettes rouge-vert, le TNO, chez une population de sujets amblyopes et anisométropes. Le test était administré sur deux séances différentes. Lors de la deuxième présentation, la position des lentilles rouge-vert était inversée devant les yeux. Douze des quinze sujets démontraient une acuité stéréoscopique différente. L'acuité stéréoscopique peut donc être variée par des artefacts de couleur rouge-vert. Arthur *et al.*²⁰ ont comparé le test des quatre points de Worth avec des lunettes polarisées (P4D) et le test des quatre points de Worth avec des lunettes rouge-vert (W4D) chez 107 patients. Leurs résultats furent les suivants: 29 patients ne réussirent pas à compléter le W4D comparativement à 10 qui ne purent pas compléter le P4D. Selon leurs résultats le P4D semblerait se rapprocher davantage de la vision naturelle par rapport au W4D et serait donc plus facilement applicable dans le contexte d'un examen visuel .

1.1.5.1.5 Éclairage

Des études ont été faites pour vérifier l'influence de l'éclairage sous lequel le test était effectué. Une étude de Reinecke et Simons²¹ utilisant le RDEⁱ chez 121 enfants d'âge préscolaire a été effectuée dans deux locaux de garderie.

ⁱ Le RDE est un test utilisant le principe du regard préférentiel. Le port de lunettes polarisées est nécessaire. Le test comprend deux cartes : une contient un "E" sur un patron de SPA et l'autre est un patron de SPA sans figure. La disparité latérale est modifiée en changeant la distance du test.

Dans une des pièces l'éclairage était de 6,8 candela/m² et dans l'autre de 17,1 candela/m². Ils n'ont trouvé aucune différence significative entre les seuils moyens d'acuité stéréoscopique dans les deux locaux.

1.1.5.2 Facteurs liés au sujet

1.1.5.2.1 Strabisme

Les anomalies visuelles affectant la vision binoculaire, en particulier le strabisme, interfèrent avec la perception de la stéréopsie. Reincke et Simons²¹ ont fait une étude en utilisant les *Random Dot E* (RDE). Ils sont arrivés à la conclusion que les gens ayant un strabisme constant de grande amplitude démontrent habituellement une perte complète de stéréopsie. Ceci n'est cependant pas aussi défini pour les microtropies. La définition d'une microtropie varie légèrement d'un auteur à l'autre, mais l'étude récente de Matsuo et collaborateurs,²² publiée en 2003, implique une correspondance rétinienne anormale, une fusion périphérique et une déviation des axes oculaires de moins de 10 dioptries prismatiques.

Selon une étude de Cooper et Felman²³ utilisant un dispositif projetant des SPA, les patients présentant une microtropie présentent eux aussi une perte totale de stéréopsie. Selon deux études de Tomac et collaborateurs^{24,25} ainsi qu'une de Matsuo et collaborateurs,²² certains patients ayant une microtropie présentent une acuité stéréoscopique grossière au test de TNO. Ces résultats soutiennent que la stéréopsie peut être appréciée en l'absence de fusion ou durant la suppression.²⁶

1.1.5.2.2 Amblyopie

Julesz⁵ de même que d'autres chercheurs^{27,28} ont établi que la stéréoscopie est possible même en présence d'amblyopie d'un oeil ou des deux yeux. Contrairement au strabisme où l'image reçue par un œil est déplacée par rapport à l'image reçue par l'autre œil, chez l'amblyope anisométrique, les images ne sont pas déplacées mais présentent uniquement une différence de clarté et contraste.

Lee et Isenberg²⁹ ont étudié la relation entre l'acuité visuelle et la stéréopsie à l'aide des points de Wirt (voir figure 4) chez des enfants amblyopes anisométriques sans strabisme. Ils ont trouvé une relation linéaire statistiquement significative démontrant que plus l'acuité visuelle est réduite, plus l'acuité stéréoscopique est détériorée.

Stigmar³⁰ a étudié l'acuité stéréoscopique en présentant des stimuli visuels embrouillés sur des verniers.ⁱⁱ Les amblyopes anisométriques présentaient une diminution d'acuité stéréoscopique proportionnelle au degré de détérioration de l'acuité visuelle monoculaire (en général, provenant de l'anisométrie). Ces résultats concordent avec ceux de Lee et Isenberg.²⁹

ii Un vernier est un dispositif de mesure de l'acuité ou de la fusion binoculaire dans lequel le critère consiste à déceler le défaut d'alignement de deux traits verticaux.²

Tomac et Birdal³¹ ont étudié l'effet de l'anisométrie sur la fonction binoculaire et la relation entre la stéréoscopie et la fusion. Ils ont testé l'acuité visuelle monoculaire de 25 sujets avec la charte de Snellen, l'état de leur fusion avec les lunettes de Bagolini (lentilles marquées de stries très fines ne modifiant pas l'acuité visuelle) et la stéréoscopie avec le TNO. Ils sont arrivés à la conclusion que le niveau de perte d'acuité visuelle est davantage important par rapport au degré d'anisométrie dans la détérioration de la fonction binoculaire. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par les études de Lee et Isenberg²⁹ et Stigmar.³⁰

1.1.5.2.3 Acuité visuelle

La conception de certains tests de stéréoscopie fait en sorte qu'ils mesurent l'acuité visuelle en plus de l'acuité stéréoscopique du patient. Ceci est le cas, par exemple, du RDE qui est un test clinique dont les distances de présentation sont variées. En effet, éloigner ce test du patient diminue la disparité de même que la taille des points du patron. Ce test est composé de deux plaques formées de points aléatoires dont une contient la lettre "E". Simons,¹⁰ dans une étude comparant quatre tests de stéréoscopie chez des enfants âgés entre trois et cinq ans, a obtenu des acuités stéréoscopiques au RDE inférieures à celles obtenues au TNO qui est un test administré à une distance fixe. Birch et Hale³² ont quant à eux comparé la mesure d'acuité visuelle avec la charte de Allen avec celle de la stéréoscopie en utilisant quatre tests: un dispositif expérimental utilisant des SPA, les formes du *Randot Stereotest*, le Titmus et le Lang. Cette étude a été conduite chez des enfants âgés entre 19 et 60 mois.

La valeur de l'acuité visuelle a été convertit en secondes d'arc afin qu'elle puisse être comparée avec les valeurs d'acuités stéréoscopiques. Birch et Hale³² ont trouvé que l'acuité stéréoscopique moyenne était supérieure à l'acuité visuelle moyenne par un facteur d'au moins 1,5.

Cliniquement, il est pratique qu'un test quantitatif de vision binoculaire soit insensible aux petites diminutions symétriques de l'acuité visuelle, telles que créées par des erreurs de réfractions légères, tout en demeurant sensible aux différences interoculaires d'acuités visuelles souvent associées avec des dysfonctions binoculaires.¹⁸

1.1.5.2.4 Aniseiconie

Peu d'études se sont intéressées à l'effet de l'aniseiconie sur la stéréoscopie. Cooper⁵ a trouvé que des modifications au niveau des SPA pour produire des changements iséiconiques résultent en une perte immédiate de stéréoscopie. En effet, l'appréciation des SPA contrairement à la stéréopsie locale dépend d'une fusion sensorielle normale et d'un alignement des deux fovéas.

1.1.5.2.5 Âge

Les études s'entendent pour dire que l'acuité stéréoscopique s'améliore au cours des premières années de la vie. Cet aspect sera discuté plus en détails à la section 1.2 du présent document.

1.2 MESURES DE LA STEREOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE

1.2.1 MÉTHODES DE MESURES DE LA STÉRÉOSCOPIE CHEZ LE NOURRISSON

Chez le nourrisson, la stéréoscopie peut être mesurée à l'aide de deux techniques; par regard préférentiel et par potentiels évoqués visuels (PEV).³³ Une légère précocité des réponses électrophysiologiques est observée par rapport aux réponses comportementales.³⁴ En effet, la réponse électrophysiologique n'implique que l'aire corticale visuelle striée alors que la réponse comportementale requiert en outre la participation des aires préstriées et préfrontales d'exécution d'une tâche, en l'occurrence un mouvement oculaire.³³

1.2.2 ÂGE D'APPARITION DE LA STÉRÉOSCOPIE

Les mesures obtenues par regard préférentiel et par électrophysiologie (PEV) montrent que la fonction binoculaire apparaît entre la dixième et la seizième semaine. Nombre d'études ont été réalisées à l'aide du regard préférentiel. Cette méthode se base sur l'hypothèse que les nourrissons préfèrent regarder un objet tridimensionnel qu'un objet bidimensionnel. En effet, Held *et al.*³⁵ ont utilisé cette méthode avec des cibles de disparités différentes. Pour Held et son équipe, la moyenne d'âge pour laquelle apparaît une préférence pour l'objet tridimensionnel statistiquement significative varie entre 12 et 16 semaines ce qui concorde avec les résultats de Braddick³⁶ et Corbé.³⁷ Calloway et collaborateurs³⁸ ont eux aussi évalué la vision stéréoscopique à l'aide de la méthode du regard préférentiel en utilisant des

cartes de SPA de différentes disparités. Ils ont démontré la présence de stéréoscopie chez la plupart des enfants âgés entre 17 et 34 semaines. Plusieurs études portant sur l'âge d'apparition de la stéréoscopie ont quant à elles été réalisées à l'aide des potentiels évoqués visuels. Les résultats varient un peu d'une étude à l'autre. Braddick, Atinson et Wattam-Bell,³⁹ en 1983, arrivent à la conclusion que les potentiels enregistrés au niveau cortical apparaissent dès la douzième semaine. Selon une étude de Skarf et collaborateurs⁴⁰ fait en 1993, la fusion sensorielle serait présente dès la cinquième semaine. Ils obtiennent eux aussi des réponses aux stéréogrammes dès la douzième semaine. Une étude de Birch et Petrig³³ effectuée à l'aide de la méthode du regard préférentiel et des PEV soutient également l'hypothèse du développement précoce de la stéréopsie. Ils ont trouvé la présence de stéréopsie chez peu de sujets âgés entre deux et trois mois et chez la plupart des enfants de cinq mois.

1.2.3 AMÉLIORATION DE LA STÉRÉOSCOPIE AVEC L'ÂGE

Birch et Petrig³³ arrivent à la conclusion que l'acuité stéréoscopique est similaire à celui des niveaux adultes (seuil inférieur à soixante secondes d'arc) vers l'âge de six à sept mois. Ils ont utilisé les méthodes du regard préférentiel et des PEV (potentiels évoqués visuels).

Pour leur part, Birch⁴¹ et Hale³² arrivent à la conclusion d'un développement plus tardif de l'acuité stéréoscopique. Ils obtiennent une acuité stéréoscopique moyenne de 77 secondes d'arc entre 19 et 24 mois et une amélioration à 40 secondes d'arc

entre 31 et 36 mois. Une acuité stéréoscopique inférieure à 300 secondes d'arc chez les enfants de moins de 24 mois et inférieure à 100 secondes d'arc chez les plus de 24 mois serait considérée comme anormale. Cette étude a utilisé le principe du regard préférentiel.

Plusieurs études utilisant le principe du regard préférentiel montre que l'acuité stéréoscopique s'améliorerait au cours des premières années de la vie.^{41,42,43} L'étude de Ciner⁴² publiée en 1996 utilise comme cible de regard préférentiel un visage souriant pour mesurer les acuités stéréoscopiques. Ces résultats sont présentés dans le tableau numéro I.

Age (Mois)	N	Moyenne Stéréoacuité	Erreur Standard	95% Intervalle de confiance
6-11	22	301.7	15.4	325.7
12-17	6	300.0	14.7	346.1
18-23	16	233.6	23.7	261.8
24-29	17	101.7	18.7	129.0
30-35	15	54.4	7.1	83.6
36-41	17	50.8	4.5	78.2
42-47	10	64.9	12.2	100.6
48-53	16	48.3	4.9	76.5
54-59	8	46.4	9.7	86.3
60-65	2	28.8	8.8	108.6

Tableau I Seuil de l'acuité stéréoscopique en fonction de l'âge.
(tiré de Ciner, 1996)

Les enfants de moins de 24 mois ont une acuité stéréoscopique d'environ 300 secondes d'arc. Une nette amélioration est observée à 24 mois, l'acuité stéréoscopique s'approchant des niveaux adultes. Une étude antérieure de Ciner et collaborateurs⁴¹ publiée en 1990, utilisant également le regard préférentiel, montre que l'acuité stéréoscopique est d'environ 250 secondes d'arc à 18 mois. La plus grande amélioration d'acuité stéréoscopique s'observe à 30 mois passant à 125 secondes d'arc. Cette amélioration serait principalement attribuable à une moins grande variabilité des réponses des enfants à partir de 30 mois. À 65 mois, elle est de 60 secondes d'arc. L'acuité stéréoscopique approcherait donc les niveaux adultes vers l'âge de cinq ans. La raison de cette modification pourrait être un changement continu dans le développement du système visuel. Cette amélioration viendrait peut-être aussi de la différenciation fovéolaire qui continue jusqu'à quatre ans.⁴⁴ Selon les résultats de Ciner et collaborateurs⁴² l'acuité stéréoscopique se développerait plus tardivement que ne l'ont trouvé Birch et Petrig (1996) de même que Birch et Hale (1989). Ils obtiennent des acuités stéréoscopiques près des niveaux adultes (moins de 60 secondes d'arc) vers l'âge de cinq ans, comparativement à 6-7 mois pour Birch et Petrig et 31-36 mois pour Birch et Hale.

D'autres études ont évalué l'amélioration de la stéréoscopie avec l'âge à l'aide de tests exigeant une coopération supérieure à celle requise par la méthode du regard préférentiel. Ces recherches ont porté sur des enfants à partir de l'âge de deux ans.

Birch et collaborateurs¹² ont mesuré l'acuité stéréoscopique à l'aide du Randot préscolaire. Les enfants de trois ans auraient de routine une acuité stéréoscopique de 60 secondes d'arc, et de 40 secondes d'arc à quatre ans.

Leat et collaborateurs⁴⁵ arrivent à la conclusion que les performances s'améliorent au Frisby et aux points de Randot jusqu'à l'âge de sept ans auquel temps l'acuité stéréoscopique est de 20 secondes d'arc.

Selon les données d'Amigo⁴⁶ remontant en 1973, aucun enfant de moins de quatre ans n'aurait une acuité stéréoscopique supérieure à 100 secondes d'arc lorsque testé avec le Titmus. La vision stéréoscopique s'améliorerait jusqu'à l'âge de neuf ans. Le test de Titmus est composé d'une mouche dont les ailes semblent ressortir, de trois rangées d'animaux dont l'un par rangée semble ressortir ainsi que de neuf losanges de quatre cercles dont l'un est vu en relief (voir figure 4). Selon une étude de Cooper,⁵ la vision stéréoscopique s'améliore beaucoup plus rapidement que les résultats obtenus dans l'étude précédente d'Amigo. Vers cinq ou six ans, 100% des sujets sans problème de vision binoculaire peuvent réussir tous les neuf points de Wirt du test de Titmus.

Bien que ces données puissent être interprétées comme une amélioration de l'acuité stéréoscopique avec l'âge, elle est probablement plutôt représentative d'autres facteurs liés à l'âge. Par exemple, l'habilité de comprendre les instructions verbales de même que le maintien de l'attention et de la motivation.⁵ En effet, Cooper, Feldman et Medlin⁸ ont évalué des enfants de seulement trois ans qui parvenaient à

identifier correctement des stéréogrammes avec des disparités aussi faibles que trente secondes d'arc à l'aide des points du Randot. Ces données suggèrent que la stéréopsie fine est présente tôt dans la vie. Fox et collaborateurs⁴⁷ ont tenté d'évaluer si le seuil élevé d'acuité stéréoscopique des enfants pouvait être attribué aux méthodes utilisées pour les obtenir. Les auteurs ont mesuré l'acuité stéréoscopique d'enfants âgés entre trois et cinq ans en utilisant un test de laboratoire combiné avec des procédures destinées à optimiser les limites de l'attention, de la motivation et de la capacité de répondre des jeunes enfants. Les seuils obtenus (médian =12,6 secondes d'arc) sont beaucoup plus bas que ceux précédemment rapportés et ils sont près, mais non égaux aux seuils des adultes. Ces données suggèrent que le développement de la stéréopsie n'est probablement pas plus long que le développement des autres capacités visuelles. Les auteurs suggèrent que les enfants ne possèdent pas les stratégies cognitives sophistiquées que les adultes peuvent employer à l'approche du seuil d'acuité stéréoscopique. Selon ces interprétations, le plein développement de la capacité stéréoscopique serait presque complet chez les enfants de trois à cinq ans.

2 TESTS DE STEREOSCOPIE À L'ÉTUDE

2.1 RANDOT PRÉSCOLAIRE

2.1.1 DESCRIPTION

Le test est composé de trois livrets. Dans chacun des livrets des formes en noir et blanc en deux dimensions sont retrouvées sur la page de gauche. La page de droite contient deux séries de quatre patrons de SPA avec trois des mêmes formes que celles présentées sur la page de gauche et un espace sans stimulus. Les formes ne sont pas placées au même endroit sur la page de gauche et de droite. Les trois livrets utilisés dans ce test sont montrés à la figure 6. L'enfant doit porter des lunettes polarisées pour exécuter le test.

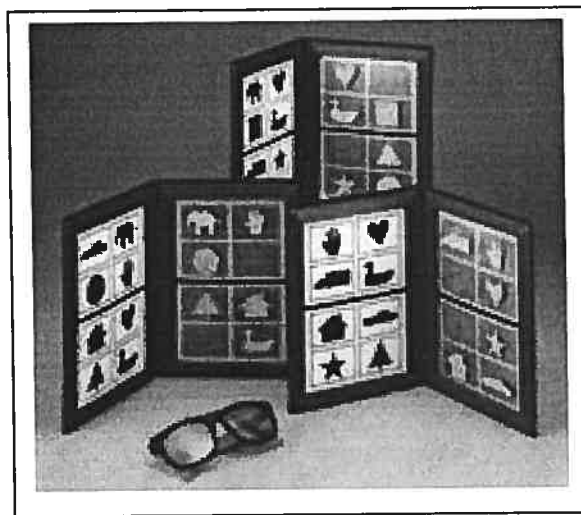


Figure 6 Randot préscolaire

2.1.2 ACUITÉS STÉRÉOSCOPIQUES MESURABLES

Le livret numéro un contient des disparités intermédiaires (200" et 100"), le livret numéro deux des disparités fines (60" et 40") et le livret numéro trois des disparités grossières (400" et 800").

2.1.3 PROCÉDURE

Cette procédure réalisée par Birch et collaborateurs¹² consiste à présenter à l'enfant le livret un. Il doit identifier correctement deux des trois figures stéréoscopiques. S'il réussit, le deuxième livret lui est ensuite présenté. S'il échoue, le troisième livret est utilisé. Puisque quatre réponses sont possibles par niveau de disparité, la probabilité de réussir par hasard est de 0,06.

2.1.4 DONNÉES CONCERNANT LE RANDOT PRÉSCOLAIRE

2.1.4.1 Taux de succès

Selon une étude de Birch et collaborateurs,¹² le Randot préscolaire a un taux de passation supérieur au *Randot Stereotest*, au Lang 1, au Frisby et au Titmus chez les enfants de trois à cinq ans. La passation est définie comme la collaboration de l'enfant au test stéréoscopique (l'enfant participe et donne une réponse au test). De plus, il donne des mesures d'acuités stéréoscopiques plus justes chez les enfants de trois à cinq ans. En général, d'excellents taux de passation ont été obtenus pour les enfants âgés entre trois et cinq ans et des taux moyens ont été obtenus pour les

enfants de deux ans. La figure 7 montre les résultats comparatifs des taux de passation obtenus avec le Randot préscolaire, les formes du *Randot Stereotest* et le Lang 1. Le Randot préscolaire a un taux de passation significativement plus élevé (95,1%) que les cercles du Titmus (37,8% ; $z=6,73$, $P < 0,001$), les animaux du Titmus (48,2% ; $z=5,74$, $P < 0,001$) ou les formes du *Randot Stereotest* (77,0% ; $z=2,73$, $P < 0,006$). Le taux de passation du Lang 1 (85,0%) est presque comparable à celui du Randot préscolaire ($z=1,63$, $P=0,10$). Par contre, le Lang ne permet pas de mesurer un seuil d'acuité stéréoscopique.

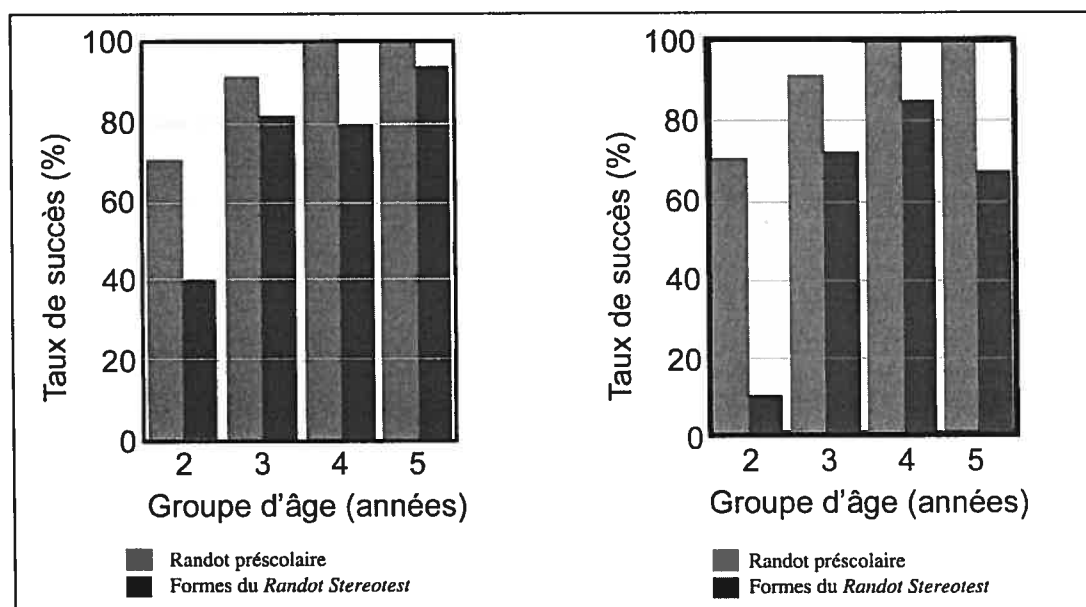


Figure 7 Taux de succès du Randot préscolaire comparativement à ceux des formes du *Randot Stereotest* et du Lang.
(Tiré de Birch, et al., 1997)

2.1.4.2 Choix des formes présentes dans le test

Le choix des formes contenues dans le Randot préscolaire a été effectué de la façon suivante : 43 enfants à terme et en santé âgés entre 34 et 38 mois ont été recrutés. Chaque enfant était testé individuellement. Un total de 20 images d'animaux, de formes et d'objets communs ont été présentés séparément (un par page). Chaque

enfant devait nommer ce qu'il voyait sur chaque page. Une liste des images comprises pour l'évaluation est donnée dans le tableau II. Le pourcentage des enfants qui identifiaient correctement l'image était calculé. Ensuite, 11 figures ont été choisies pour être incluses dans le Randot préscolaire. Chacune d'elles avait été identifiée correctement par plus de 95% des enfants de trois ans.

Formes évaluées pour l'utilisation dans le test stéréoscopique préscolaire de Randot		
FORMES	% des enfants de trois ans qui identifiaient correctement la forme	Inclusion dans le test
Animaux		
Éléphant	100	Oui
Canard	100	Oui
Cheval	90.7	Non
Lapin	93	Non
Chat	88.4	Non
Formes		
Cercle	97.7	Oui
Carré	95.3	Oui
Étoile	100	Oui
Cœur	95.3	Oui
Triangle	83.7	Non
Objets		
Maison	97.7	Oui
Camion	100	Oui
Sapin	100	Oui
Main	100	Oui
Auto	100	Oui
Tasse	88.4	Non
Bol	90.7	Non
Fourchette	65.1	Non
Cuillère	93	Non
Couteau	41.9	Non

Tableau II Dessins analysés pour la conception du Randot préscolaire (Adapté de Birch et al, 1997)

2.1.4.3 Efficacité du Randot préscolaire pour le dépistage d'anomalies visuelles

Une étude de Birch et collaborateurs¹² a été effectuée pour déterminer l'efficacité de dépistage du Randot préscolaire. Mille deux cents soixante enfants de deux à cinq ans ont été testés. La sensibilité était définie par la proportion d'enfants identifiés avec un problème de vision binoculaire qui échouaient le test de stéréoscopie. La spécificité était définie par la proportion d'enfants avec une excellente vision binoculaire qui réussissaient le test. Le critère employé pour définir la stéréopsie normale était de moins de 200 secondes d'arc pour le Randot préscolaire, moins de 400 secondes d'arc pour le test de Titmus, moins de 500 secondes d'arc avec les formes du *Randot Stereotest* et moins de 550 secondes d'arc avec le test de Lang I. Cette étude a démontré que la sensibilité et la spécificité du Randot préscolaire excédaient 0,90. La sensibilité de ce test était substantiellement supérieure (0,91) à celle des cercles et des animaux du Titmus (0,50 $z=3,93$ $P < 0,001$) ou celle des formes du *Randot Stereotest* (0,71 $z=2,91$ $P < 0,04$). La sensibilité du Lang I était légèrement inférieure à celle du Randot préscolaire (0,81 et 0,70 $z=6,90$; $P < 0,001$). La spécificité était comparable pour tous les tests.

Une étude de Birch et collaborateurs¹² montre que le taux de passation du Randot préscolaire chez les trois à cinq ans est élevé, atteignant 95% dans une clinique médicale privée et 89% dans une population participant à un programme de dépistage. Des taux de passation moyens, 70%, ont été obtenus pour les enfants de 2 ans.

2.2 TEST DE FRISBY

2.2.1 DESCRIPTION

Le test de Frisby est constitué de trois plaques de plexiglas transparentes de six, trois et un millimètres d'épaisseur. Chaque plaque contient quatre quadrants de cinq centimètres à l'intérieur desquels sont tracés des patrons de triangles disposés de façon aléatoire.⁴⁸ Tout le patron de figures aléatoires est disposé sur une face de la plaque à l'exception d'un patron circulaire composé lui aussi de figures aléatoires. Il apparaît au centre d'un seul des quatre carrés et est imprimé au verso de la plaque (figure 8). La perception stéréoscopique est donc créée par une différence réelle de profondeur. La tâche de l'enfant est de localiser le cercle ainsi formé. La perception de la profondeur n'est possible qu'en vision binoculaire lorsque la plaque est bien alignée (en assumant qu'il n'y ait aucun mouvement de la part du sujet).

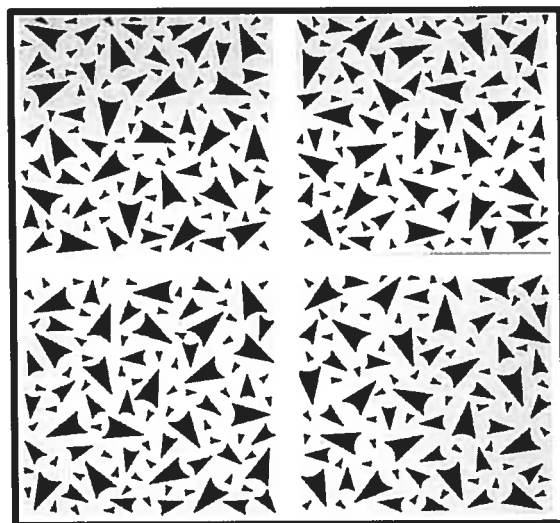


Figure 8 Plaque du test de Frisby

La plaque est toujours présentée avec le cercle « flottant » en arrière pour éviter de confondre l'enfant sur l'image qu'il doit identifier.⁶ L'enfant n'a pas à porter de lunettes polarisées.

2.2.2 ACUITÉS STÉRÉOSCOPIQUES MESURABLES

Le patient est testé avec les trois plaques en variant la distance entre son plan pupillaire et les plaques. Le tableau III montre les disparités (en secondes d'arc) associées à différentes distances de test. Frisby¹⁴ suggère de débiter par la distance usuelle de lecture soit 40 cm. Des mesures plus précises sont obtenues en ayant recourt à un ruban à mesurer. Il est suggéré de tenir le test sur le dessus d'une table ou sur les genoux de l'examineur.

Distance du test		Épaisseur de la plaque		
<i>cm</i>	(in)	6 mm	3 mm	1 mm
30	(12)	600	300	100
40	(16)	340	170	55
50	(20)	215	110	35
60	(24)	150	75	25
70	(28)	110	55	20
80	(32)	85	40	15

Tableau III Disparité en fonction de la distance avec le test de Frisby.
(Tirée du livret d'instruction du test de Frisby)

Bien que Frisby considère que les valeurs du tableau soient suffisamment fiables pour un usage clinique, il s'agit d'approximations de la disparité exacte. En effet, la distance pupillaire varie d'un patient à l'autre, il est difficile d'être certain de la distance œil-test et d'un test à l'autre il peut y avoir de petites variations quant à l'épaisseur réelle des plaques. Il se produit aussi une faible variation de l'épaisseur

apparente des plaques (de 4.027, 2.013 et 0.67mm respectivement) due à l'indice de réfraction de 1,49 du plastique. Conséquemment, si le test de Frisby est utilisé dans un contexte où il est approprié de savoir exactement les disparités présentées, ces dernières doivent être trouvées à l'aide de la formule usuelle de disparité en tenant compte de l'épaisseur apparente des plaques. La distance œil-plaque (d), l'écart pupillaire (EP), l'indice de réfraction du plastique (n) et l'épaisseur de la plaque (t) sont utilisés pour déterminer le seuil de stéréoscopie via cette formule :

$$T = \frac{(t) (EP) \times 206265 \text{ sec d'arc/ radian}}{(n) (d)^2}$$

2.2.3 PROCÉDURE

La plaque de six millimètres est tenue directement devant le sujet à 40 cm en face d'un fond clair (il peut s'agir par exemple d'une feuille de papier blanc déposée sur une table ou de l'intérieur de la valise du test) (voir figure 9). Les réflexions venant de l'arrière du patient ou directement au-dessus de lui doivent être évitées.

L'attention de l'enfant est attirée sur le cercle en profondeur. Il peut être utile de dire que le cercle flotte en arrière de la plaque ou lui montrer un diagramme montrant la dimension et la texture du cercle caché (un exemple est imprimé sur l'endos du test). L'enfant est encouragé à pointer le cercle. Certains jeunes enfants hésitent à toucher les plaques ou à donner une réponse définitive. Dans ce cas, l'observateur se positionne face à l'enfant afin d'observer ses mouvements oculaires. Les quatre

patrons dans chaque plaque sont bien séparés et les enfants arrêtent typiquement de bouger leurs yeux s'ils trouvent la forme cachée et maintiennent leur attention dessus.

La plaque est ensuite tournée dans différentes directions, l'enfant est à nouveau encouragé à identifier le cercle.⁶ Le critère de réussite du test est d'identifier correctement au moins deux réponses sur trois. Puisqu'il s'agit d'une alternance de quatre choix forcés, la probabilité de réussir par hasard est de 25%. Un seuil de 62,5% (à mi-chemin entre 25% et 100%) a été sélectionné. Il est approximativement de deux réponses sur trois.⁴⁵

Si l'enfant réussit, la procédure est recommencée avec la plaque de trois puis de un mm. S'il échoue, la distance du test est diminuée.



Figure 9 Enfant effectuant le test de Frisby

2.2.4 DONNÉES CONCERNANT LE TEST DE FRISBY

2.2.4.1 Réussite du test chez les jeunes enfants

Frisby et collaborateurs⁴⁹ arrivent à la conclusion qu'il est possible d'utiliser le test de Frisby de façon routinière pour les enfants de plus de 24 mois. Selon une étude de Gruber et collaborateurs,⁵⁰ ce test serait approprié pour les enfants à partir de 30 mois. Hinchliffe⁶ a trouvé une acuité stéréoscopique de 250 secondes d'arc chez un bébé de 18 mois et de 495 secondes d'arc chez un bébé de 9 mois à l'aide du test de Frisby. Leat et collaborateurs⁴⁵ ont obtenu le résultat suivant : 100 % des enfants de deux à cinq ans étaient capables de réussir le test de Frisby à la première occasion. Simons¹⁰ a trouvé des résultats similaires; 97% des enfants âgés de trois à cinq ans pouvaient réussir le test.

2.2.4.2 Temps d'administration du test de Frisby

Simons,¹⁰ arrive à la conclusion que le test de Frisby peut être administré en 30 à 45 secondes dans plusieurs cas. Ce court temps s'explique par l'absence de port de lunettes stéréoscopiques et le principe du choix forcé. D'un autre côté, le test est constitué d'une multitude de triangles qui peuvent confondre certains enfants. Il est donc conseillé de guider à l'aide de l'index de l'examineur la fixation de l'enfant.

2.2.4.3 Précautions à prendre lors de l'administration du test de Frisby

2.2.4.3.1 Distance du test

Il est primordial que la plaque soit maintenue bien droite et que le sujet n'ait pas de mouvements de la tête. Frisby¹⁴ suggère de faire des présentations répétées jusqu'à ce que l'examineur soit certain que le patient puisse ou non discriminer correctement la forme. Il est par contre difficile de garder la distance du test de Frisby constante si l'enfant ne maintient pas sa tête bien droite. Ceci peut avoir une influence sur l'efficacité du test. En effet, une différence de 10 centimètres entre le sujet et le test induit une différence de disparité de 90 secondes d'arc. De plus, il peut être difficile de décider laquelle des quatre cibles du test l'enfant pointe lorsque le test est déplacé plus loin que sa portée. Simons^{10,16} en vient à la conclusion qu'il est plus simple d'utiliser le critère d'échec ou de réussite avec la plaque de 250 secondes d'arc pour l'utilisation clinique du test de Frisby. Cependant, il faut être conscient qu'une telle utilisation rend le test parfois moins utile puisqu'elle ne permet pas de mesurer de seuil d'acuité stéréoscopique.¹⁵

2.2.4.3.2 Réflexions

Les rayons lumineux provenant de l'arrière de la plaque peuvent créer des réflexions à sa surface. Par contre, en pratique, la distance du test, la parallaxe et les réflexions ont un effet mineur et sont relativement faciles à contrôler.⁶ Selon Cooper et collaborateurs,⁸ ces problèmes sont inévitables même sous les meilleures conditions de « testing » possibles. De plus, lors de dépistages administrés par des aides

techniques, il n'est pas toujours possible de s'assurer qu'un grand soin ait été pris dans l'administration du test.

2.2.4.4 Seuils d'acuités stéréoscopiques mesurés à l'aide du Frisby

Simmerman⁴⁸ a effectué une étude chez 20 adultes normaux à l'aide du test de Frisby. Il a obtenu une acuité stéréoscopique moyenne de 11.86 secondes d'arc avec un écart type variant de 3.6 à 29.5 secondes d'arc (déviations standard=7.23). Simons¹⁶ a effectué une étude afin de déterminer les seuils d'acuités stéréoscopiques de 38 enfants âgés entre 3 et 5 ans. Il a trouvé que seulement 8% des enfants réussissaient le test de Frisby avec la plaque de 85 secondes d'arc de disparité. La grande majorité des enfants (87%) réussissaient uniquement avec la plaque de 250 secondes d'arc. Il a aussi effectué le test chez huit adultes normaux. Parmi eux, 35% des gens ne réussissaient que lorsque la plaque de 250 secondes d'arc était utilisée. Il notait une amélioration de 70% de l'acuité stéréoscopique moyenne entre celle d'un groupe d'enfants de 3 à 5 ans (250,7 secondes d'arc) et celle d'un groupe d'adultes (142,8 secondes d'arc). Pour sa part Hinchliffe⁶ rapporte que 8 des 13 enfants de trois ans qu'il a testé étaient capables de passer le test de Frisby à 160 ou 85 secondes d'arc.

2.2.4.5 Versions modifiées du test de Frisby

Dans la littérature, deux versions modifiées du test de Frisby ont été développées : celle de Frisby *et al.*⁴⁹ et celle de Gruber *et al.*⁵⁰

2.2.4.5.1 Test de Frisby : version utilisant une lumière clignotante avec le test conventionnel

Frisby et collaborateurs⁴⁹ ont évalué une version modifiée du test. Il s'agit de l'ajout d'une lumière clignotante placée sous la plaque de plexiglas du test de Frisby conventionnel. La lumière est utilisée comme méthode de renforcement lorsque l'enfant donne la bonne réponse. Elle peut être ouverte pour gagner l'attention de l'enfant durant la phase d'entraînement au cours de laquelle il se familiarise avec le test et ses exigences. Cette phase est ensuite suivie par le test où l'enfant est encouragé à pointer clairement la cible pour obtenir la lumière. La cible est ensuite placée dans deux ou trois autres positions. Selon les auteurs, cette méthode augmente les chances d'administrer le test avec succès chez les très jeunes enfants âgés entre 7 et 23 mois. De plus, cette méthode modifiée du test de Frisby serait tout aussi efficace pour les enfants de trois et quatre ans que pour les plus jeunes.

2.2.4.5.2 Test de Frisby : version utilisant un choix forcé à deux items

Gruber et collaborateurs⁵⁰ ont évalué une version modifiée du test de Frisby recourant au principe du choix forcé à deux items. Ils ont utilisé un critère de passation de 600 secondes d'arc, soit la capacité de reconnaître le cercle à 30 centimètres sur la plaque de 6 millimètres. Ils en sont venus à la conclusion que cette version pouvait être utilisée chez les poupons dès 14 mois. Par contre, le test perd un peu de sa sensibilité lorsqu'il est utilisé de cette manière.

2.3 RANDOT STEREOTEST

2.3.1 DESCRIPTION

Le *Randot Stereotest* est composé d'un seul livret. Il s'agit d'une page divisée en huit patrons de points aléatoires dont six contiennent une forme. La figure 10 montre les différentes images: croix, cercle, carré, « E », triangle et étoile. Les mêmes formes se retrouvent en deux dimensions sur la page couverture du test. Pour ce test, l'enfant doit porter des lunettes polarisées.

Si le test est présenté à l'envers (le bas vers le haut), la polarisation des images est inversée faisant apparaître les formes « flottant » vers l'arrière plutôt que vers l'avant. Par contre, il est habituellement plus facile de percevoir les formes lorsqu'elles ressortent.¹³

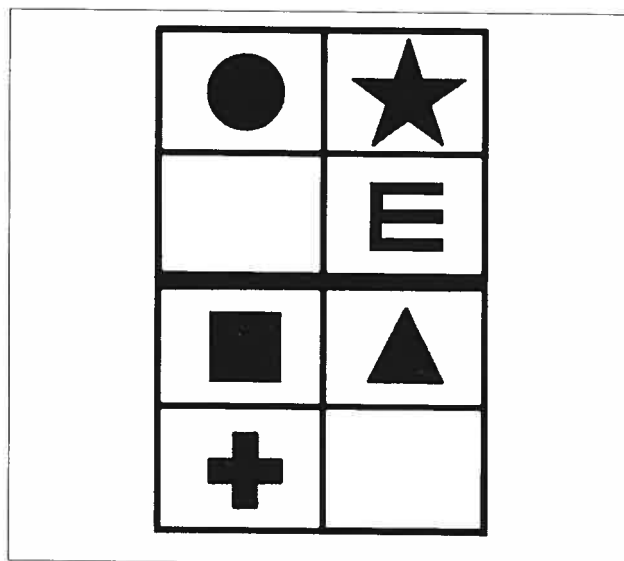


Figure 10 Illustration des formes présentes dans le Randot Stereotest

2.3.2 ACUITÉS STÉRÉOSCOPIQUES MESURABLES

Les images de la moitié supérieure, soit le cercle, l'étoile et le « E », ont une disparité de 500 secondes d'arc à 40 centimètres. Les images de la moitié inférieure, soit le carré, le triangle et la croix, ont une disparité de 250 secondes d'arc à 40 centimètres.

2.3.3 PROCÉDURE

Trois des cases contiennent des images, la quatrième étant vide.¹³ L'enfant plus mature peut être en mesure de nommer les formes, mais selon le manufacturier une réponse telle qu' « il n'y a rien » dans la case appropriée est acceptable. Pour certains enfants, l'effet stéréoscopique se manifesterait lentement, il faut donc laisser le sujet examiner le test quelques secondes et l'encourager. Des mauvaises réponses peuvent également être dues à des difficultés de communication et non à des problèmes visuels. Il est important de donner des directives simples pour faciliter la compréhension. L'enfant peut apparier la forme perçue dans la case avec une feuille modèle contenant les six formes au lieu de donner la réponse verbalement.

Le test est considéré comme étant réussi si l'enfant identifie correctement deux des trois figures présentes dans les quatre cases supérieures de même que dans les quatre cases inférieures. La probabilité de réussir par chance est de 0,06.

2.3.4 DONNÉES CONCERNANT LES FORMES DU *RANDOT STEREOTEST*

Aucune étude n'a été trouvée sur l'utilisation des formes du *Randot Stereotest* chez la population préscolaire.

2.4 TEST DE LANG

2.4.1 DESCRIPTION

Le test de Lang est destiné à faciliter l'examen du sens stéréoscopique chez les enfants.⁵¹ Il existe deux versions, le I et le II. Toutefois, seul le Lang II est utilisé dans cette étude car les disparités présentées sont similaires à celles du *Randot Stereotest* auquel il sera comparé. Le test est constitué d'une plaque de 10 par 15 centimètres. Il contient trois stéréogrammes à points aléatoires de disparités différentes (éléphant, auto et quartier de lune) perçues seulement en vision binoculaire, et une étoile qui peut être perçue de façon monoculaire, mais qui est également en relief si l'observateur a une vision binoculaire (voir figure 11). L'étoile sert à attirer l'attention des jeunes enfants. Elle donne aussi l'occasion au patient qui n'a pas de vision stéréoscopique d'avoir la satisfaction de percevoir quelque chose.⁵¹

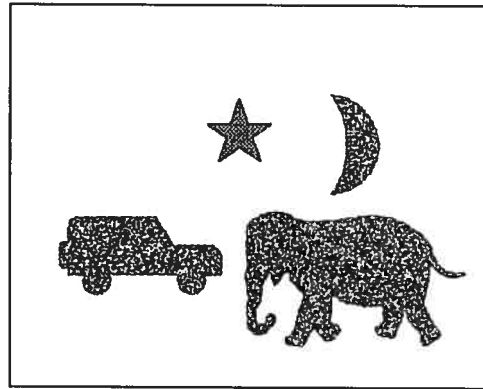


Figure 11 Test de Lang II

Le test est basé sur le principe des réseaux de demi-cylindres minces disposés parallèlement. Ce principe, attribué à l'ophtalmologiste et physiologiste zurichois W. R. Hess (prix Nobel 1949) qui le fit breveter en 1912,⁵¹ permet d'isoler l'image vue par l'œil droit de celle vue par œil gauche (figure 12). Ce test ne nécessite pas l'utilisation de lunettes polarisées.

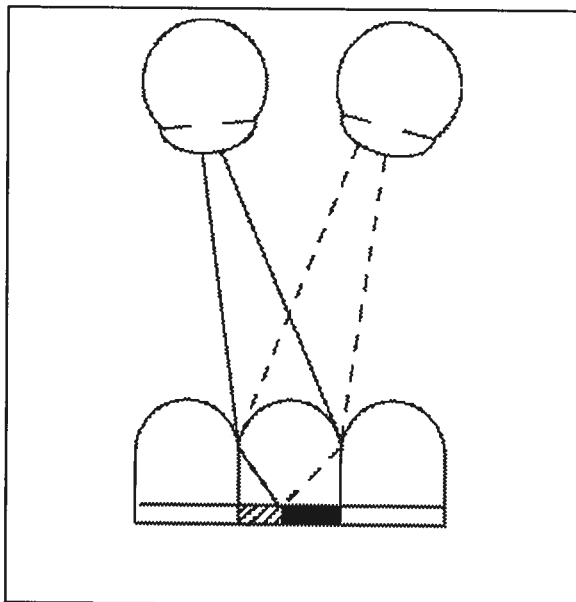


Figure 12 Principe de réseaux des demi-cylindres du test de Lang

2.4.2 ACUITÉS STÉRÉOSCOPIQUES MESURABLES

Les données sur la disparité sont valables pour une distance d'examen de 40 centimètres. Les points aléatoires du Lang II sont plus fins et moins denses que ceux du Lang I. Les disparités stéréoscopiques sont plus faibles : 200 secondes d'arc pour l'étoile et la lune, 400 pour l'auto et 600 pour l'éléphant. L'éléphant paraît donc « flottant » davantage vers l'avant que les autres images. Une légère rotation du test autour de son axe vertical entraîne d'abord la disparition des figures. Si le test est tourné de 180°, les figures réapparaissent enfoncées : l'œil droit voit l'image que voyait l'œil gauche et inversement.

2.4.3 PROCÉDURE

Les résultats sont classés par Lang en nettement positifs, douteux et nettement négatifs. La localisation correcte et la dénomination des objets ou le fait de les pointer pour les enfants en bas âge sont des réponses nettement positives. Tous les cas où une certaine impression de relief est perçue, mais où les enfants ne reconnaissent pas de formes définies, sont des résultats douteux. Les réponses telles que « un dessin », « des points noirs et blancs », « quelque chose comme une ligne » sont franchement négatives. Par contre, selon Smith⁵² l'identification des formes devrait être la seule réponse acceptable. Il suggère de ne pas considérer le seul fait de pointer le dessin comme étant une réponse positive.

Le test doit être tenu parallèlement au visage du patient par l'examineur. L'enfant ne doit pas incliner la tête ou la carte, car ces mouvements induisent des indices monoculaires. Par contre, des petits ajustements de la tête sont permis pour permettre d'avoir la meilleure position possible.

2.4.4 DONNÉES CONCERNANT LE LANG

2.4.4.1 Réussite du test chez les jeunes enfants

Lang et Lang⁵³ ont trouvé qu'un enfant de six mois a été capable de réussir le test de Lang. Selon eux, ce test peut être utilisé même chez les patients préverbaux, puisqu'ils peuvent changer leur fixation d'un objet à l'autre et essayer d'attraper les objets. Il faut bien préparer les jeunes enfants avant le test. Ainsi, ces chercheurs

commencent par montrer un cube de fixation pour habituer les enfants avec les figures et ensuite ils présentent un bâton de fixation sur lequel les enfants peuvent pointer l'auto ou le chat. Ils ont effectué une étude sur 193 enfants âgés de 6 mois à 4 ans; 42% des enfants âgés entre 6 et 12 mois, 75% des enfants de 12 à 18 mois et environ 90% de ceux de plus de 18 mois étaient capables de passer le test. Lors d'une autre étude effectuée sur 106 enfants de 5 à 6 ans, le taux de passation du test était de 93,5%.⁵³

2.4.4.2 Efficacité du test pour le dépistage d'anomalies visuelles

Schmidt et Kulp⁵⁴ ont testé l'efficacité du test de Lang I pour détecter les anomalies oculaires et visuelles lors d'un dépistage visuel. Ils ont évalué 183 enfants âgés entre 6 et 10 ans. Chez cette population, le Lang I a démontré une faible sensibilité (31,6%) et une spécificité élevée (93,1%). L'habileté à comprendre la tâche est essentielle à l'utilisation de cette procédure. Dans cette étude, tous les enfants étaient capables de compléter la tâche. De plus, pour que la procédure soit utile, il est important qu'elle soit répétable d'un examinateur à l'autre. Un sous-groupe de 27 enfants a été testé à nouveau avec la procédure recommandée par Lang. Un coefficient de corrélation de Spearman de +0.693 ; avec une signification à $p=0.01$ a été obtenu. Aucun enfant qui avait passé au premier test n'a échoué au deuxième essai et seulement un enfant qui avait échoué au premier essai a réussi à passer à la deuxième tentative. Il existe donc une bonne fiabilité entre les différents observateurs. Des résultats similaires quant à la fiabilité (83%) du test lorsqu'il est effectué par différents examinateurs ont été trouvés par Peduti-Cunha et Cadeira.⁵⁴

Le Lang peut par contre être mémorisé puisqu'il consiste en une seule plaque contenant quatre images ayant des positions fixes.⁵⁴

Smith⁵² a étudié la valeur du Lang II et du Frisby dans le dépistage d'anomalies binoculaires. Selon ces résultats, le Lang II serait plus fiable que le Frisby.

Schmidt et Kulp⁵⁴ ont évalué l'efficacité du test de Lang I dans la détection d'anomalies visuelles lors d'un dépistage. Ils ont utilisé le critère restrictif de localiser et nommer les 3 objets comparativement à celui de localiser la position des 3 objets pour 93 sujets. En utilisant le critère restrictif, le coefficient phi et la spécificité augmentent de +0.25 à +0.31 et de 92,4% à 97,0%, mais la sensibilité diminue de 25,9% à 22,2%. Conséquemment, lorsque le test de Lang est utilisé comme outil de dépistage, l'examineur devrait accepter comme critère de réussite l'identification correcte de l'auto (l'image ayant la disparité la plus fine pour ce test) pour éviter de dégrader davantage la sensibilité du test.

Ramussen et collaborateurs⁵⁵ ont étudié l'efficacité du test de Lang II pour le dépistage du strabisme dans une population d'enfants âgés de trois ans. Le test était administré par des infirmières. La fiabilité entre les résultats obtenus par les différents examinateurs était de 0,65. Ils ont comparé les résultats obtenus par les infirmières à l'aide du test de Lang II avec les examens faits par des orthoptistes. La sensibilité était de 0,33 et la spécificité de 0,85. Le test de Lang montrait une fiabilité faible dans le dépistage du strabisme. Les auteurs concluent qu'il ne serait pas un test

approprié pour le dépistage du strabisme par les infirmières pour les enfants de trois ans.

2.4.4.3 Effets des déficits visuels sur la réussite du test

Lang et Lang⁵³ ont évalué l'effet des anisométries, des déficits visuels unilatéraux, des hétérophories et des désordres de motilités oculaires sur la réussite du test de Lang. Aucun patient ayant un strabisme constant de large amplitude n'était capable de passer le test. Par contre, les patients avec une anisométrie modérée et ceux avec une exotropie intermittente pouvaient réussir le test. Sur 114 sujets ayant un strabisme de petite amplitude, 2,6% passaient le test, 88,5% l'échouaient et 8,7% ne le réussissaient que partiellement. Sur 23 patients ayant une amblyopie due à une anisométrie, 65,2% passaient le test, 21,7% l'échouaient et 13 % le réussissaient partiellement. Selon les auteurs, la présence de stéréoscopie à ce test indique que le patient n'a pas de défauts monoculaire ou binoculaire importants.⁵¹

3 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

L'âge des enfants semble avoir un impact sur l'intérêt qu'ils portent aux différents tests. Le premier objectif est donc de comparer les taux de passation des quatre tests de stéréoscopie afin d'évaluer si un test semble plus approprié en fonction de l'âge. La littérature ne semble pas l'avoir déterminée pour les enfants de deux ans. L'hypothèse émise est que le test de Lang présentera le meilleur taux de passation.

De plus, peu d'études se sont intéressées à l'effet d'apprentissage sur la passation des tests. La littérature rapporte certaines études effectuées avec des tests de stéréoscopie où les auteurs avaient préalablement familiarisé les sujets avec les tests. Les taux de passation de ces différentes études étaient supérieurs à la plupart des autres études. L'apprentissage semblerait améliorer les taux de passation. Par contre, aucune étude n'a comparé les résultats d'un groupe d'enfants exécutant les tests après les avoir pratiqués avec ceux d'un groupe les effectuant sans entraînement préalable. Cette étude s'est donc intéressée à ce possible effet d'apprentissage. Par conséquent, le deuxième objectif est de comparer les taux de passation d'un groupe d'enfants effectuant les tests après une période d'apprentissage avec ceux d'un groupe d'enfants n'ayant pas bénéficié de pratique pour différents groupes d'âge : les deux, trois, quatre et cinq ans. L'hypothèse est que l'apprentissage aura comme impact d'améliorer les taux de passation des jeunes enfants, les deux et trois ans.

Ensuite, le troisième objectif de l'étude est d'évaluer l'influence du port de lunettes polarisées sur le taux de passation pour les différents groupes d'âge. Aucune étude n'a porté sur le sujet. Par contre, selon la littérature, les tests de Lang et de Frisby qui ne nécessitent pas de lunettes polarisées semblent être passables à des âges plus précoces (environ deux ans) que le Randot préscolaire (environ trois ans) qui requiert le port de lunettes polarisées. L'hypothèse est que les lunettes polarisées nuiront à la passation des enfants de deux ans.

Finalement, la littérature s'entend sur l'amélioration de la stéréoscopie avec l'âge. Par contre, elle ne montre pas de consensus quant à l'âge où apparaît ce changement dans les seuils de stéréoscopie. Des variabilités sont en effet observées d'une étude à l'autre. Les études rapportent des seuils d'acuité stéréoscopique près des niveaux adultes variant de l'âge de six mois à neuf ans selon l'étude. Le quatrième objectif est donc de comparer les seuils d'acuité stéréoscopique pour les différents tests et groupes d'âge afin d'évaluer vers quel âge la stéréoscopie semble s'améliorer. L'hypothèse émise est que le seuil d'acuité stéréoscopique s'améliore près des niveaux adultes vers l'âge de cinq ans, car il s'agit environ de l'âge médian rapporté par la littérature.

4 BUT DE L'ÉTUDE

La littérature existante ne montre pas de consensus quant aux mesures de stéréoscopie en fonction de l'âge des enfants. En effet, de grandes variabilités des seuils d'acuité stéréoscopique et des taux de passation des tests sont observées d'une étude à l'autre. Cette variabilité peut être attribuable à la conception du test utilisé et ou à des facteurs liés à l'âge comme par exemple, l'habileté à comprendre les instructions et le niveau d'attention. Cette incertitude est à l'origine de la présente l'étude. Cette dernière a pour but de comparer les résultats obtenus à l'aide du Randot préscolaire, des formes du *Randot Stereotest*, du Lang et du Frisby chez les enfants âgés entre deux et cinq ans. Les taux de passation et les seuils d'acuité stéréoscopique des quatre tests seront évalués pour les différents groupes d'âge. La passation est définie comme un sujet qui collabore au test de stéréoscopie et donne une réponse. Elle n'est pas fonction du seuil d'acuité stéréoscopique mesuré. De plus, cette étude tentera de déterminer si l'apprentissage influence les taux de passation de ces mêmes tests. Finalement, elle tentera d'évaluer si certains enfants refusent de porter les lunettes polarisées qui sont nécessaires aux tests des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire entraînant une baisse du taux de passation de ces tests. Cette tranche d'âge, soit entre deux et cinq ans, a été retenue pour les raisons suivantes. Premièrement, les enfants devaient être en mesure de comprendre les consignes pour pouvoir exécuter les tests ce qui a fixé l'âge minimum à deux ans. Deuxièmement, l'âge maximum de cinq ans a été retenu, car la littérature montre qu'il semblerait y avoir peu d'amélioration du seuil d'acuité stéréoscopique dépassé cet âge. Ces quatre tests ont été sélectionnés, car ils mesurent tous de la stéréoscopie globale. Le Randot

préscolaire et le test de Frisby permettent une mesure précise de l'acuité stéréoscopique. Le test de Lang semble être réussi par de très jeunes enfants. Par contre, il ne présente que des disparités grossières. Il peut donc être comparé aux formes du *Randot Stereotest* qui possède les mêmes caractéristiques. Les tests de Lang et Frisby ne requièrent pas le port de lunettes polarisées contrairement aux formes du *Randot Stereotest* et au Randot préscolaire.

5 MÉTHODE ET MATÉRIEL

5.1 SUJETS

Cent cinquante-deux enfants âgés entre 2 et 5 ans ont participé à cette étude. De ce nombre, 117 ont été évalués dans les locaux de leur garderie, entre huit heures et seize heures. Ils fréquentaient la garderie Caliméro, Mimi-Coco et Panda dans la ville de Sherbrooke en Estrie. Un parent ou tuteur des enfants avait été informé verbalement et par écrit du protocole expérimental et avait signé le formulaire de consentement approuvé par le Comité d'éthique de la recherche des sciences de la santé de l'Université de Montréal. Les 35 autres sujets, principalement dans la catégorie des cinq ans, ont été testés en bureau privé, à la Clinique d'Optométrie Richard et Forcier, au cours d'un examen visuel de routine. En tout, 38 enfants de 2 ans (âgés de 25 à 34 mois), 39 de 3 ans (âgés de 36 à 47 mois), 45 de 4 ans (âgés de 48 à 58 mois) et 30 de 5 ans (âgés de 61 à 70 mois) ont participé. Un nombre relativement équivalent de garçons et de filles ont été évalué (tableau IV). Chaque groupe d'âge était ensuite de façon aléatoire subdivisé en deux: un groupe exécutant les tests après une période d'apprentissage et l'autre sans pratique préalable. Tous les sujets ont été testés par l'auteure.

Âge	Sexe féminin	Sexe masculin	Total
2	17 (44.7%)	21 (55.3%)	38
3	18 (46.2%)	21 (53.8%)	39
4	24 (53.3%)	21 (46.7%)	45
5	16 (53.3%)	14 (46.7%)	30
Total	75 (49.3%)	77 (50.7%)	152

Tableau IV Distribution de l'échantillon en fonction du sexe et de l'âge

5.2 PROCÉDURE

Tous les enfants ont été testés individuellement et ont exécuté les quatre tests de stéréoscopie : le Randot préscolaire, le Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et le Lang II. L'ordre de présentation a été effectué de manière pseudo aléatoire et pré-établie. Par conséquent, un quart des enfants des différents groupes d'âge commençait par le test préscolaire Randot, un quart par les formes du Randot Stereotests, un quart par le test de Lang et le dernier quart par le test de Frisby. Si l'enfant était fatigué, le test pouvait être interrompu et réessayé quelques minutes plus tard s'il le voulait bien.

Un dépistage visuel sommaire a été effectué auprès de chaque enfant afin de repérer ceux susceptibles de présenter une acuité stéréoscopique inférieure à cause d'un problème visuel (strabisme, forte amétropie ou pathologie oculaire). La batterie de tests comprenait: la mesure de l'acuité visuelle à 40 cm (échelle de Léa Hyvärinen),⁵⁶ l'ophtalmoscopie directe, la rétinoscopie Indra-Mohindra par-dessus les lunettes de l'enfant s'il en portait de même que le test écran prismatique à 40 cm.

Les quatre tests devant être effectués à 40 cm, ils ont été placés sur un chevalet qui permettait, non seulement de garder la distance constante, mais aussi de maintenir le plan du test parallèle au visage du sujet.

5.2.1 RANDOT PRÉSCOLAIRE

Le livret numéro un a été présenté en premier (disparités intermédiaires). Les enfants du groupe sans apprentissage devaient identifier les formes sur la page de droite soit en les nommant ou en pointant celle semblable sur la page de gauche. Dans le cas du groupe avec apprentissage, chaque enfant a été familiarisé de manière individuelle avec les formes utilisées dans ce livret et il devait apprendre à les reconnaître sur des cartons. Afin de vérifier l'apprentissage, l'enfant devait ensuite identifier oralement les mêmes formes présentes sur la page de gauche (celles dessinées et sans effet stéréoscopique) du livret. S'il faisait des erreurs en nommant les formes, les cartons correspondants aux formes étaient disposés devant lui et il devait pointer l'image semblable à celle qui lui était montrée dans le livret. La même chose était effectuée pour chacune des quatre formes. Si l'enfant faisait encore des erreurs, il pratiquait à nouveau jusqu'à ce qu'il identifie les quatre formes. Ensuite, il devait identifier les formes sur la page de droite (SPA) soit en les nommant soit en pointant celle qui est pareille sur la page de gauche ou sur les cartons.

Si le sujet réussissait à identifier correctement deux des trois formes, il passait au livret numéro deux. S'il n'y parvenait pas, il utilisait le livret numéro trois. Aucun

enfant ne devait voir plus de deux livrets pour compléter le test. Tous les enfants recevaient les mêmes instructions quel que soit le livret utilisé.

5.2.2 TEST DE FRISBY

Pour le groupe sans apprentissage, un modèle imprimé sur un papier blanc a été présenté en premier afin de lui expliquer le test. La plaque de six millimètres était ensuite placée sur le chevalet et l'enfant devait repérer la cible circulaire dans une des cases de la plaque. Si le sujet hésitait, l'expérimentateur pointait vers chacun des quatre carrés. Lorsque l'enfant donnait une bonne réponse, la plaque était retirée à son insu, puis tournée dans une direction aléatoire et représentée à nouveau. S'il répondait correctement, l'expérimentateur présentait la plaque de trois millimètres, puis celle d'un millimètre en respectant la même procédure.

Pour le groupe avec apprentissage, la cible modèle était montrée en premier. Afin de lui faire prendre conscience de la position réelle du cercle à identifier, la plaque de six millimètres était remise à l'enfant. Il pouvait ainsi pratiquer à le repérer dans différentes positions. Le test était ensuite exécuté de la même façon que pour le groupe sans apprentissage.

5.2.3 FORMES DU *RANDOT STEREOTEST*

Pour le groupe sans apprentissage, l'enfant était invité à nommer les figures stéréoscopiques qui lui étaient présentées. S'il ne les connaissait pas, une

reproduction de toutes les figures stéréoscopiques lui était montrée sur papier. Il devait pointer celle qui était pareille à l'image indiquée par l'expérimentateur dans le livret.

Pour le groupe avec apprentissage, un modèle en carton représentant un cercle en relief était d'abord présenté à l'enfant. Le modèle était remis dans les mains de l'enfant pour qu'il puisse bien le regarder. Chaque enfant était ensuite familiarisé de manière individuelle avec les formes utilisées dans le livret et il devait apprendre à les reconnaître sur la reproduction papier. Afin de vérifier l'apprentissage, l'enfant devait ensuite identifier oralement les formes. S'il faisait des erreurs en les nommant, il devait pointer l'image semblable à celle qui lui était montrée dans le livret. Si l'enfant faisait encore des erreurs, il pratiquait à nouveau jusqu'à ce qu'il identifie les six formes correctement. Le test était ensuite exécuté de la même façon que pour le groupe sans apprentissage.

5.2.4 TEST DE LANG

Pour les enfants du groupe sans apprentissage, la plaque a été présentée directement. Les enfants devaient tenter d'identifier les figures stéréoscopiques. Ils ont été invités à les nommer et à les pointer. S'ils n'y parvenaient pas, une reproduction papier des figures présentes leur était montrée.

Pour les enfants du groupe avec apprentissage, les images étaient présentées sur une reproduction papier et elles leurs étaient nommées. L'enfant était ensuite invité à

renommer les formes sur la reproduction. Il pratiquait ensuite à apparier les figures à l'aide d'une autre feuille contenant les mêmes illustrations. Le test était ensuite exécuté de la même façon que pour le groupe sans apprentissage.

6 RÉSULTATS

La répartition des sujets dans les différents groupes est présentée à la figure 13. Tous les sujets ont effectué le Lang II, le Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire. De plus, ils ont reçu un dépistage visuel pour déterminer leurs statuts binoculaire et réfractif. Les statistiques ont été analysées en fonction du test exact de Fisher et les pourcentages ont été comparés à l'aide des intervalles de confiance à 95% (distribution binomiale lorsque la condition de Cochran l'indique).

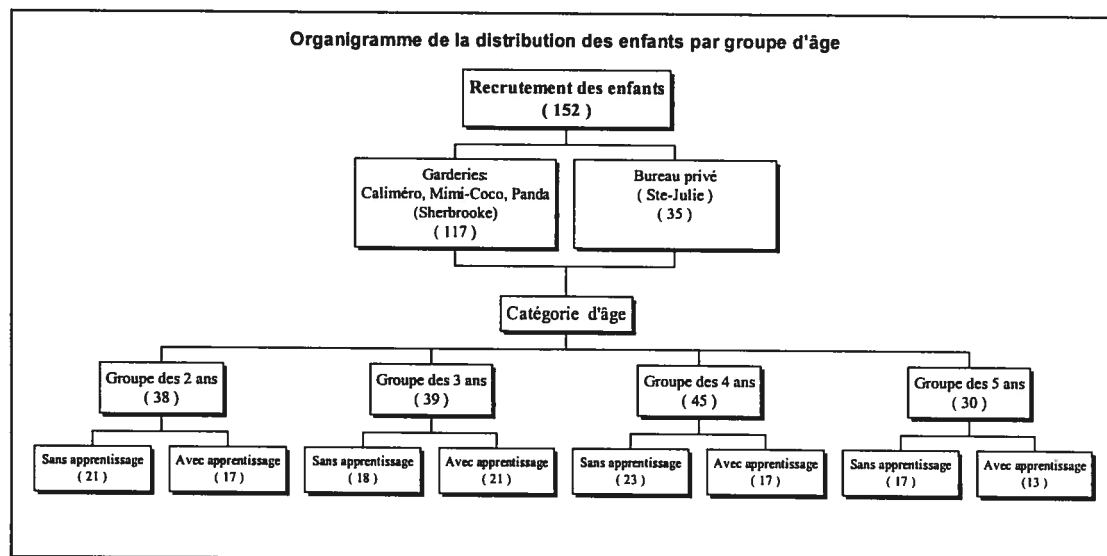


Figure 13 Organigramme de la répartition des sujets

6.1 DONNÉES CONCERNANT LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE

Les figures suivantes présentent les taux de passation des tests de Lang, Frisby, des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire. En général, les résultats étaient moyens parmi les deux ans, très bons parmi les trois, quatre ans et excellents pour les cinq ans.

Pour les deux ans, un taux de passation plus élevé a été obtenu au test de Lang par rapport à celui de Frisby, aux formes du *Randot Stereotests* et au Randot préscolaire (voir figure 14). Les taux étaient respectivement de 89,5% (l'intervalle de confiance à 95% s'étend de 75,8% à 97,0%) comparativement à 52,6%(IC_{95%} : 35,8% - 69,0%) 42% (IC_{95%} : 24,8% - 57,9%) et 44,7% (IC_{95%} : 28,5% - 61,5%). Cette différence est statistiquement significative ($p < 0,05$).

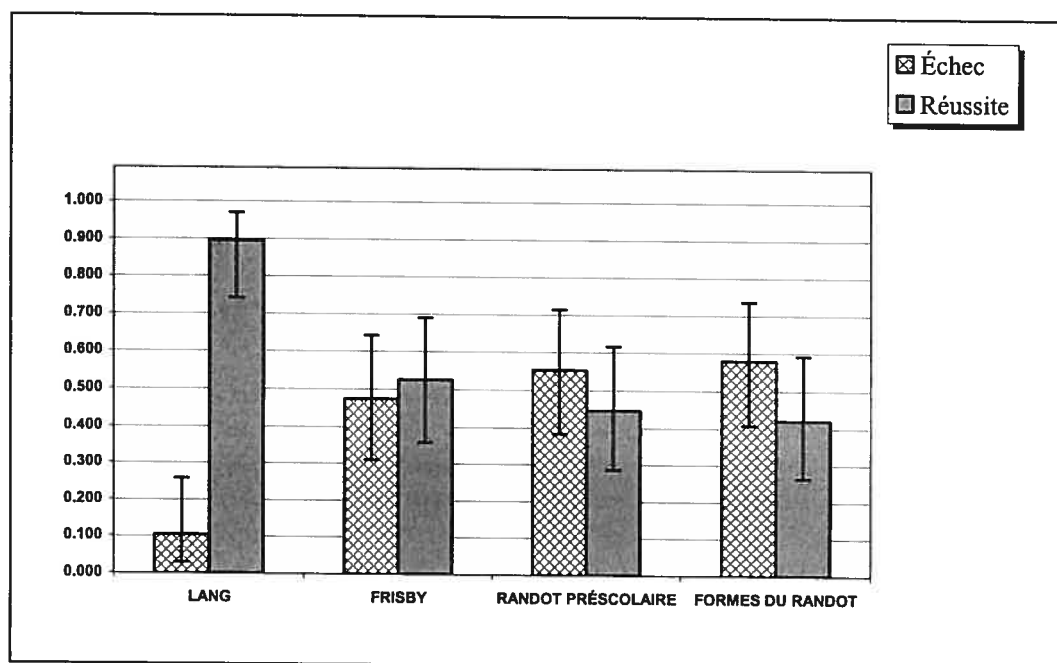


Figure 14 Taux de passation pour le groupe des deux ans

Pour les trois ans, un taux de passation supérieur a été obtenu au test de Lang par rapport au Frisby, aux formes du *Randot Stereotests* et au Randot préscolaire (voir figure 15). Les taux étaient respectivement de 94,9% (IC_{95%} : 79,9% - 99,3%) comparativement à 61,5% (IC_{95%} : 44,6% - 76,6%), 81,2% (IC_{95%} : 66,3% - 92,4%) et 81,2% (IC_{95%} : 66,3% - 92,4%). Les taux de passation du test de Lang, des formes

du *Randot Stereotests* et du Randot préscolaire sont similaires. Par contre, la différence entre les taux de passation du Lang et du Frisby est statistiquement significative ($p < 0,05$).

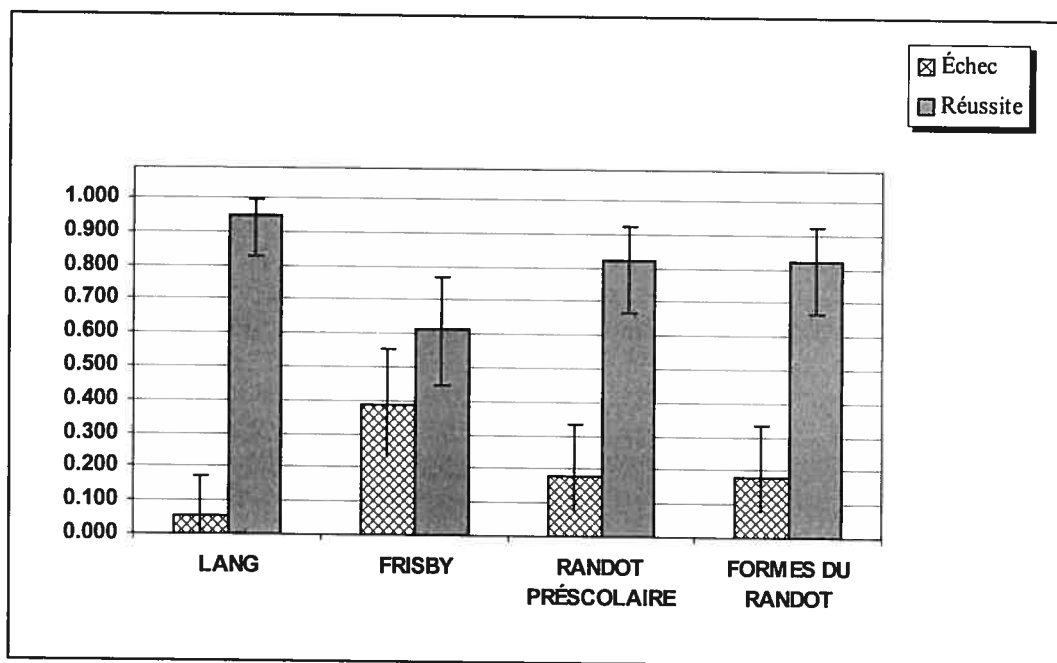


Figure 15 Taux de passation pour le groupe des trois ans

Pour les quatre ans, les taux de passation obtenus sont élevés pour chacun des quatre tests de stéréoscopie (voir figure 16). Le nombre d'enfants de ce groupe d'âge, 45, est légèrement supérieur à ceux des autres groupes (38 enfants de 2 ans, 39 enfants de 3 ans, et 30 enfants de 5 ans.)

Les taux de passation du Lang, du Frisby, des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire étaient de 97,8% (IC_{95%} : 88,0% - 99,9%), 88,9% (IC_{95%} : 75,9% - 96,3%), 95,6% (IC_{95%} : 85,2% - 99,5%) et 95,6% (IC_{95%} : 85,2% - 99,5%). Aucune différence statistiquement significative n'a pu être observée.

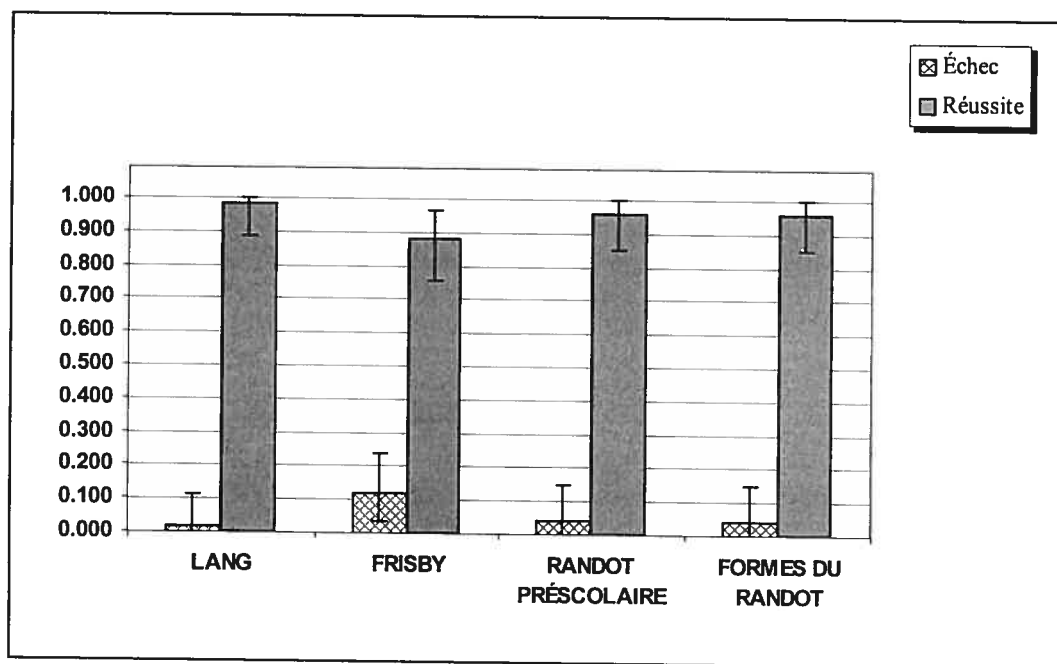


Figure 16 Taux de passation pour le groupe des quatre ans

Pour les cinq ans, tous les sujets ont été capables de passer tous les tests, donc l'intervalle de confiance à 95% s'étend de 88,4% à 100% (voir figure 18).

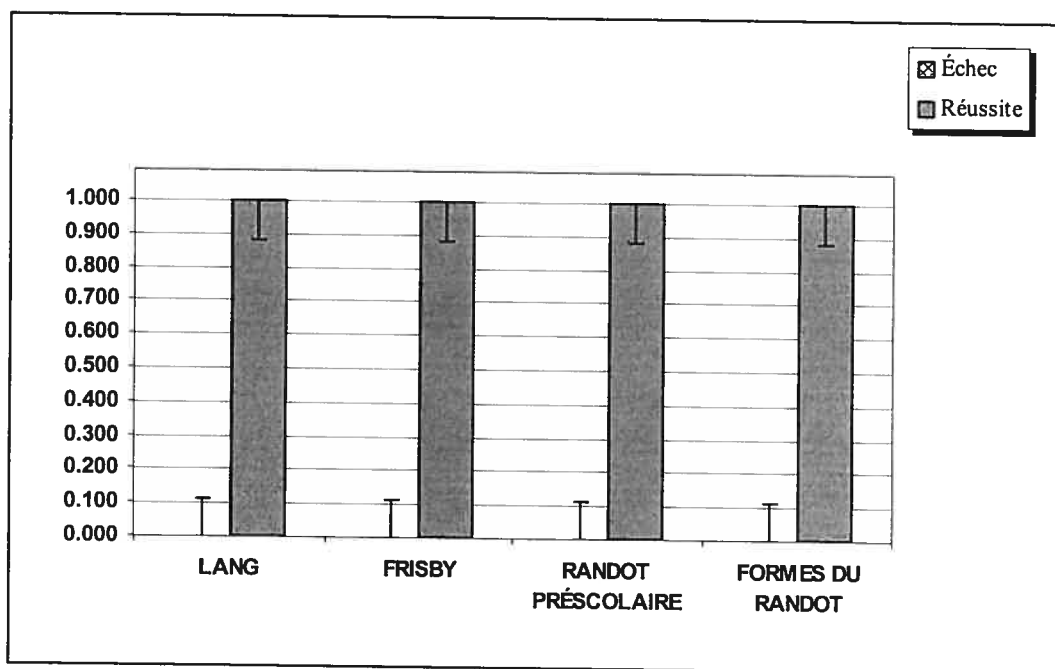


Figure 17 Taux de passation pour le groupe des cinq ans

6.2 DONNÉES CONCERNANT LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'APPRENTISSAGE POUR LES DEUX, TROIS, QUATRE ET CINQ ANS

Les figures suivantes présentent les taux de passation des tests de Lang, Frisby, des formes du *Randot Stereotest* et du préscolaire de Randot en fonction de l'apprentissage pour les deux, trois, quatre et cinq ans.

Pour les deux ans, les taux de passation du groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage avant l'exécution des tests étaient supérieurs pour les quatre tests de stéréoscopie à ceux du groupe d'enfants qui les avaient exécutés sans apprentissage (voir figure 18). Les pourcentages d'amélioration étaient semblables pour les tests de Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotests* et le Randot préscolaire soient 19%, 30,7%, 33,9% et 38,7%. Cette amélioration est statistiquement significative pour les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire.

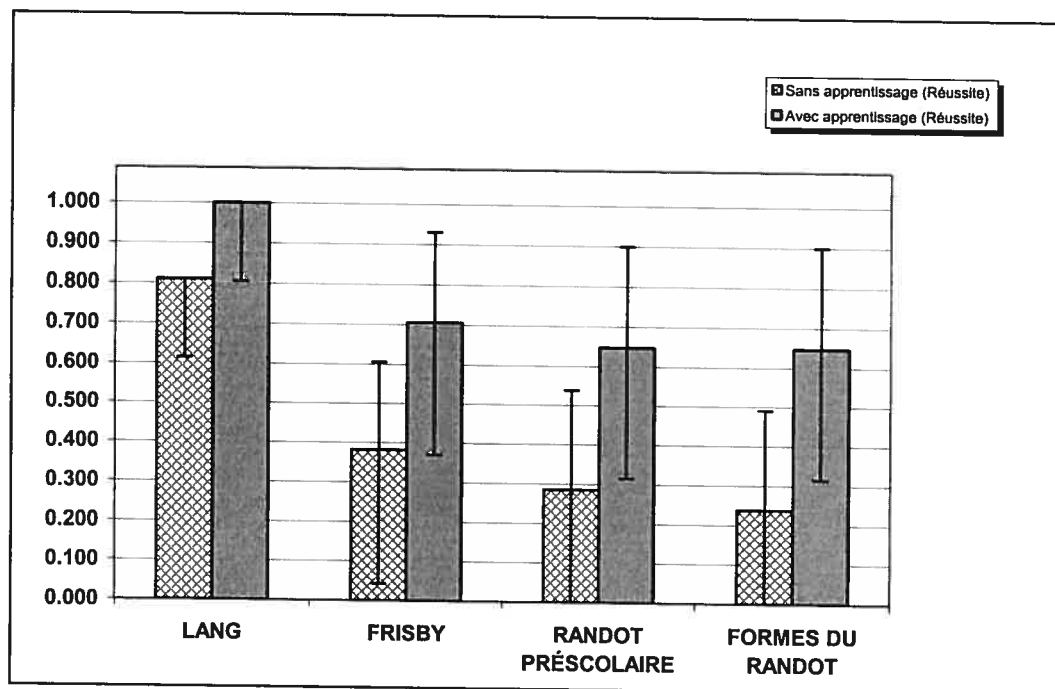


Figure 18 Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des deux ans :

Pour les trois ans, les taux de passation du groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage avant l'exécution des tests étaient supérieurs pour les quatre tests de stéréoscopie à ceux qui les avaient exécutés sans apprentissage (voir figure 19). Les pourcentages d'amélioration étaient semblables pour les tests de Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotests* et le préscolaire de Randot soient 11,8%, 36,6%, 29,7% et 29,7%. Des différences statistiquement significatives ont été obtenues pour les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire.

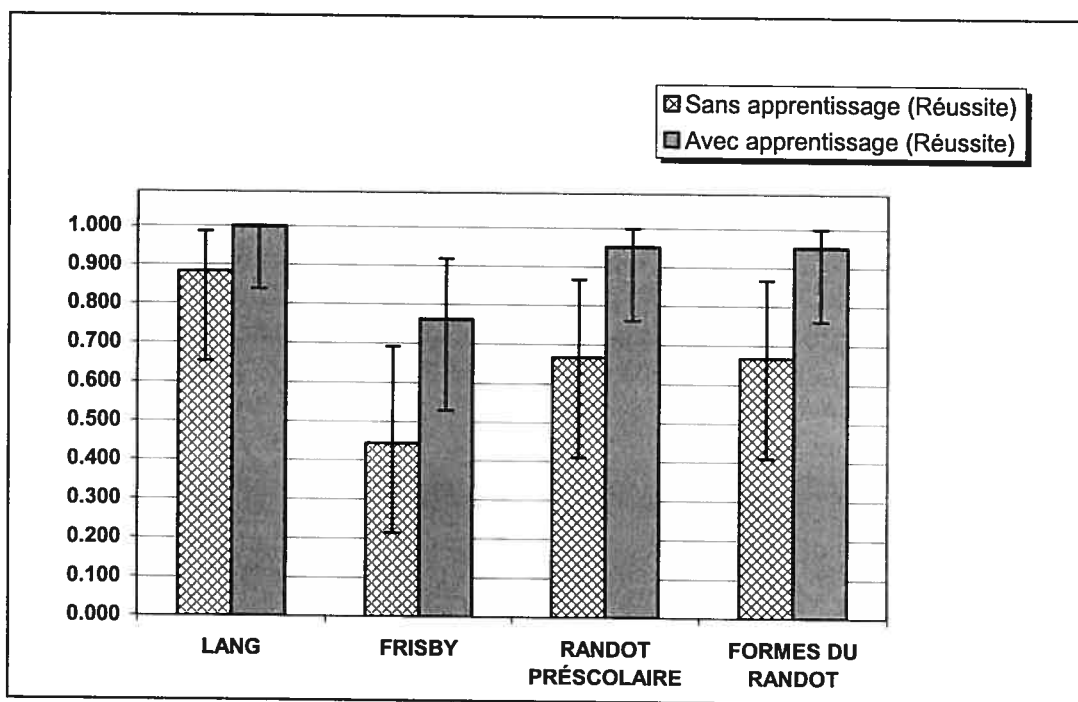


Figure 19 Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des trois ans

Pour les quatre ans, les taux de passation du groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage avant l'exécution des tests étaient légèrement supérieurs pour les quatre tests de stéréoscopie à ceux qui les avaient exécutés sans apprentissage (voir figure 20). Les pourcentages d'amélioration étaient semblables pour les tests de

Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire soient 4,2%, 9,0%, 8,3% et 8,3%. Aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée.

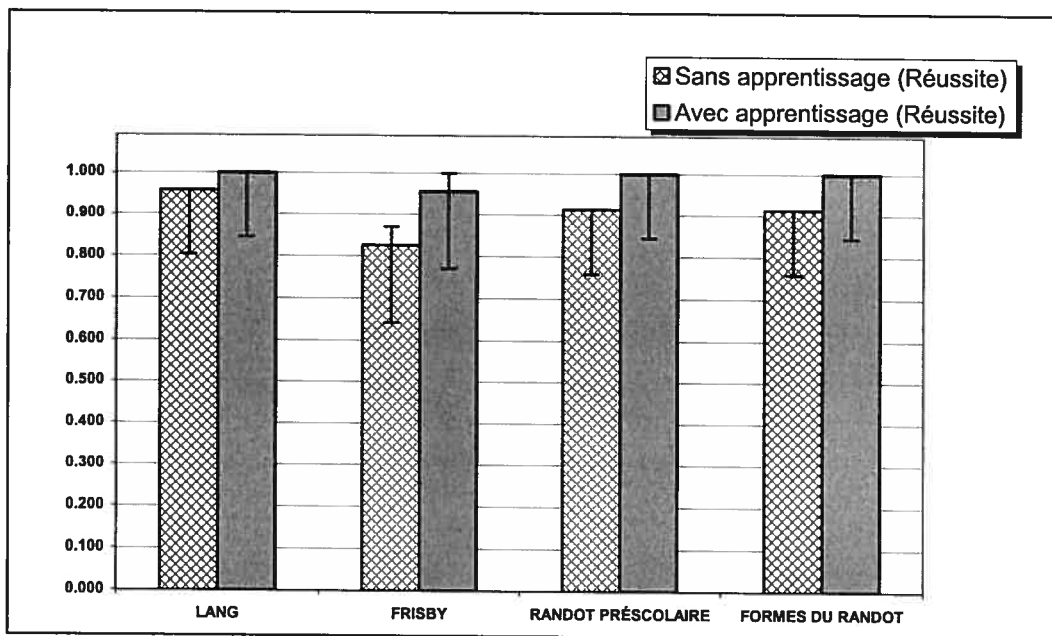


Figure 20 Impact de l'apprentissage sur la passation du groupe des quatre ans

Pour les cinq ans, tous les sujets étaient capables de passer tous les tests.

6.3 COMPARAISON DES TAUX DE PASSATION DES TESTS NÉCESSITANT LE PORT OU NON DE LUNETTES POLARISÉES POUR LES DEUX, TROIS, QUATRE ET CINQ ANS

La figure 21 compare les taux de passation des tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées, le Lang et le Frisby, avec ceux qui en nécessitent, les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire pour les deux, trois, quatre et cinq ans. Pour tous les groupes d'âge les taux de passation étaient supérieurs ou égaux pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées. De plus, aucun enfant n'a refusé de porter les lunettes polarisées.

Pour les deux ans, le taux de passation pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées était de 91,9% (IC_{95%} : 78,1% - 98,3%) comparativement à 43,2% (IC_{95%} : 27,2% - 60,4%) pour ceux où le port de lunettes polarisées étaient requis. Cette différence est statistiquement significative.

Pour les trois ans, le taux de passation pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées était de 94,3% (IC_{95%} : 82,0% - 99,3%) comparativement à 80% (IC_{95%} : 59,5% - 88,5%) pour ceux où le port de lunettes polarisées étaient requis. Cette différence n'est par contre pas statistiquement significative.

Pour les quatre ans, le taux de passation pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées était de 98% (IC_{95%} : 88,0% - 99,9%) comparativement à 96% (IC_{95%} : 84,6% - 99,4%) pour ceux où le port de lunettes polarisées étaient requis. Cette différence n'est pas statistiquement significative.

Pour les cinq ans, tous les sujets étaient capables de passer tous les tests. Donc, aucune différence entre les taux de passation n'a été notée. L'intervalle de confiance à 95% est compris entre 88,4% et 100%.

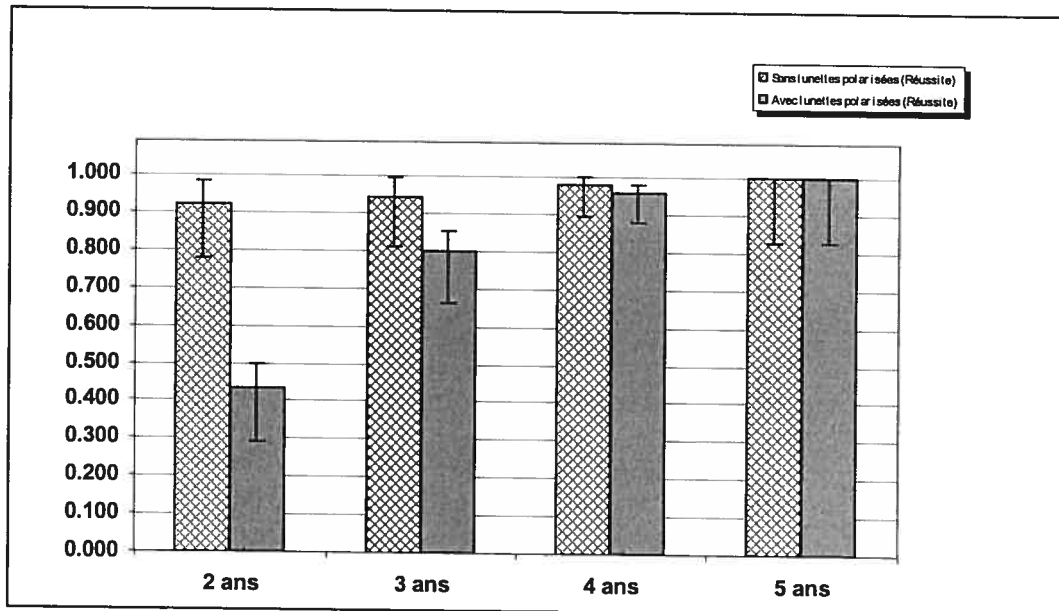


Figure 21 Taux de passation des tests avec et sans lunettes polarisées en fonction de l'âge

6.4 COMPARAISON DES SEUILS D'ACUITÉ STÉRÉOSCOPIQUE POUR LES TESTS DE STÉRÉOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE

La figure 22 met en évidence les seuils d'acuité stéréoscopique des tests de Lang, Frisby, des formes du *Randot Stereotest* et du *Randot* préscolaire en fonction de l'âge : deux, trois, quatre et cinq ans. Le seuil pour chaque catégorie a été déterminé par le modeⁱⁱⁱ. De manière générale, une amélioration des seuils en fonction de l'âge a été observée pour les tests permettant de déterminer un seuil, soit le Frisby et le *Randot* préscolaire.

ⁱⁱⁱ Dans le cas d'une variable discrète, valeur dont l'effectif (la fréquence) est maximum.²

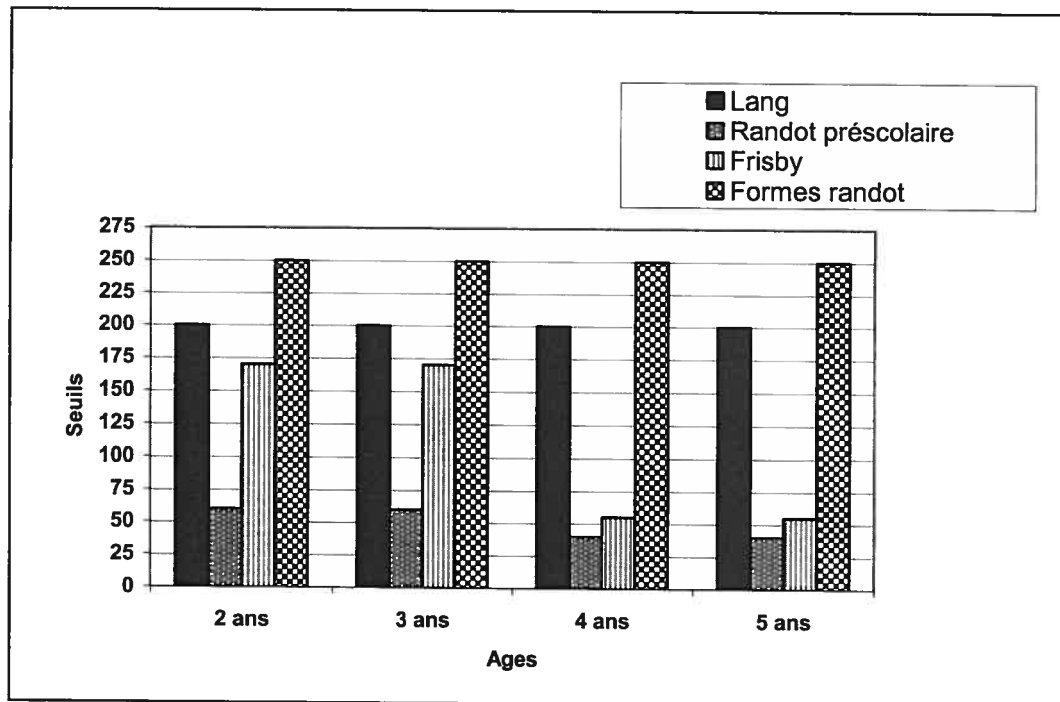


Figure 22 Seuils d'acuité stéréoscopique en fonction de l'âge pour les quatre tests

Pour le test de Frisby, une amélioration du mode du seuil d'acuité stéréoscopique a été obtenue chez les quatre ans. Les modes des seuils pour les groupes des deux et trois ans étaient de 170 secondes d'arc. Pour les groupes des quatre et cinq ans, ils étaient de 55 secondes d'arc.

Pour le Randot préscolaire, une amélioration du mode du seuil d'acuité stéréoscopique a été obtenue chez les quatre ans. Les modes des seuils pour les groupes des deux et trois ans étaient de 60 secondes d'arc. Pour les groupes des quatre et cinq ans, ils étaient de 40 secondes d'arc.

Le Lang et les formes du *Randot Stereotest* ne sont pas conçus pour établir un seuil d'acuité stéréoscopique. Les résultats obtenus suggèrent que tous les groupes d'âge

ont minimalement un seuil d'acuité stéréoscopique d'au moins 200 et 250 secondes d'arc respectivement.

6.5 IMPACT DE L'ÉLIMINATION DE CERTAINS SUJETS AYANT UN PROBLÈME RÉFRACTIF ET OU BINOCULAIRE DE LA BANQUE DE DONNÉES SUR LA PASSATION DES TESTS

Dans le groupe des 2 ans, un des sujets, le numéro 128, présentait une vision binoculaire et un état réfractif pouvant causer une diminution de la perception stéréoscopique. Il présentait une ésoptropie alternante de 25 dioptries prismatiques et une hypermétropie de +6.00 dioptries a été mesurée dans les deux yeux à la rétinoscopie Indra-Mohindra exécutée sans cycloplégie. Le sujet ne portait pas de lunettes. En conséquence, il était prévisible qu'il ne réussisse pas à passer les tests de stéréoscopie. Après retrait de ce sujet de la banque de données (voir figure 23), le taux de passation est passé de 89,5% à 91,9% (IC_{95%} : 78,0% - 98,2%) pour le Lang. Dans le cas du Frisby, il est passé de 52,6% à 54,1% (IC_{95%} : 36,9% - 70,5%). Pour les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire, il est passé respectivement, de 42% et 44,7%, à 45,9% (IC_{95%} : 29,5% - 63,1%). Le test de Lang est demeuré celui qui présentait le meilleur taux de passation pour cette catégorie d'âge et cette différence reste statistiquement significative ($p < 0,05$). Cette considération modifie légèrement les valeurs de p mais, n'influence pas de façon statistiquement significative l'amélioration de passation des tests en fonction de l'apprentissage. Ainsi, les pourcentages d'amélioration pour les tests de Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire qui étaient de 19%, 30,7%, 33,9% et 38,7% sont passés à 23,8%, 30,4%, 37,5% et 36,1%.

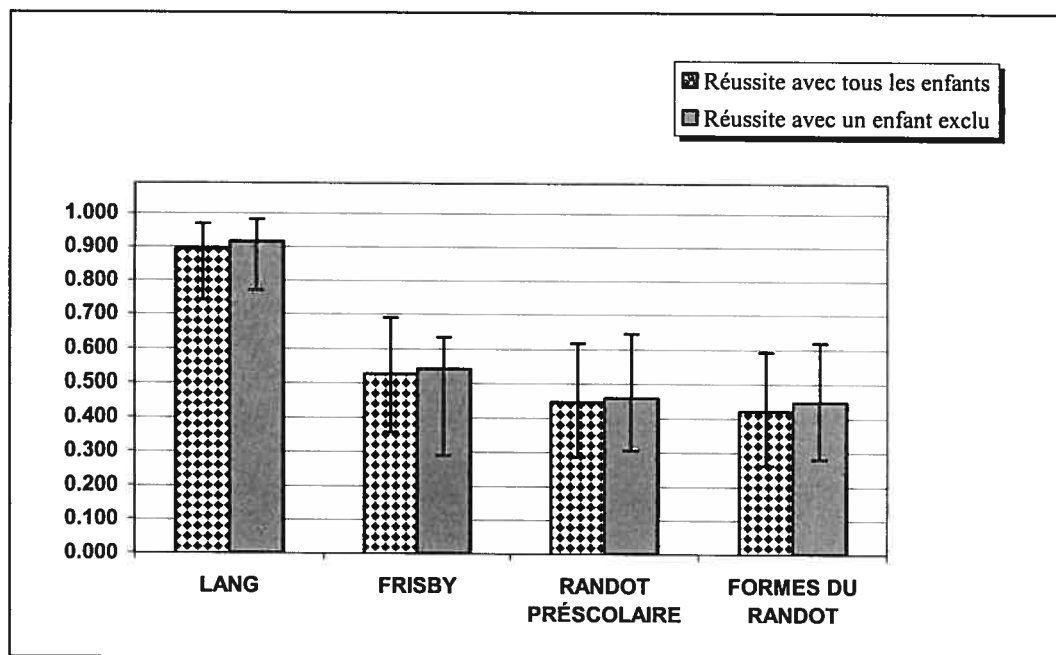


Figure 23 Effet sur la passation de l'exclusion d'un enfant présentant des anomalies binoculaires et réfractives sur le groupe des deux ans

Dans le groupe des trois ans, deux des sujets, les numéros 75 et 139 avaient des erreurs de réfraction importantes. Le sujet numéro 75 présentait une myopie de -0,50 dioptrie et un astigmatisme de -2,00 dioptries dans les deux yeux. Le sujet 139 présentait une hypermétropie de +8.00 dioptries dans les deux yeux à la rétinoscopie Indra-Mohindra exécutée sans cycloplégie. Aucun des deux enfants ne portait de lunettes. Il était conséquemment attendu qu'ils éprouvent des difficultés à passer les tests de stéréoscopie. En les retirant de la banque de données (voir figure 24), les taux de passation furent légèrement modifiés. Pour le Lang, le taux de passation est passé de 94,3% à 97,4% (IC_{95%} : 86,1% - 99,9%). Pour le Frisby, il est passé de 60% à 64,9 % (IC_{95%} : 48,2% - 80,5%). Pour les formes du *Randot Stereotest* et le *Randot préscolaire*, ils sont passés de 80% à 91,2% (IC_{95%} : 78,6% - 98,3%). Ces changements diminuent l'écart qu'il y avait entre les taux de passation pour les trois

ans du test de Lang par rapport aux tests des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire. L'écart passe de 13,7% à 6,2%. Cette différence n'était pas statistiquement significative avant le retrait des résultats de ces deux sujets et elle l'est demeurée. Pour ce qui est de l'effet de l'apprentissage sur la passation des tests, l'élimination de ces deux sujets influence peu les résultats. Il amoindrit légèrement les différences. Ainsi, les pourcentages d'amélioration pour les tests de Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et Randot préscolaire qui étaient de 11,8%, 36,6%, 29,7% et 29,7% sont passés à 6,2%, 24,8%, 26,4% et 26,4%.

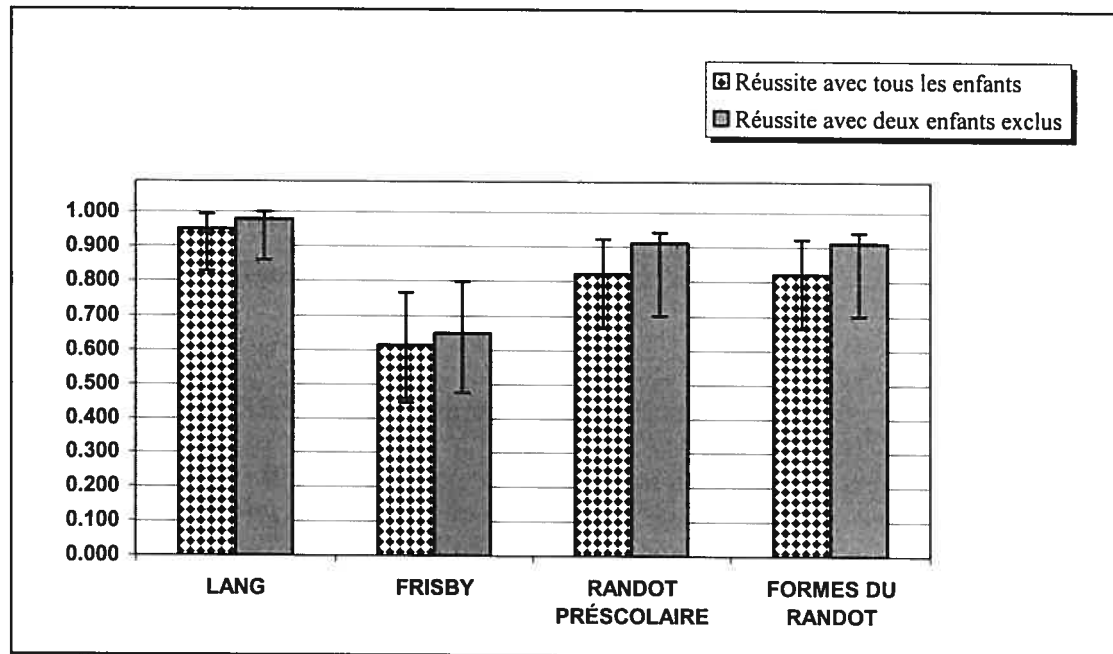


Figure 24 Effet sur la passation de l'exclusion d'enfants présentant des anomalies réfractives sur le groupe des trois ans

Dans le groupe des quatre ans, un des sujets, le numéro 81, présentait une vision binoculaire et un état réfractif pouvant causer une diminution de la perception stéréoscopique. Il présentait une hypertropie de 4 dioptries prismatiques et une ésoptropie intermittente alternante de 16 dioptries prismatiques. De plus, une hypermétropie de +6.00 dioptries a été mesurée dans les deux yeux à la rétinoscopie

Indra-Mohindra exécutée sans cycloplégie. Le sujet ne portait pas de lunettes. Il était conséquemment attendu qu'il ne réussisse pas les tests de stéréoscopie. En éliminant ces résultats de la banque de données (voir figure 25), les taux de passation furent légèrement modifiés. Pour le Lang, le taux de passation est passé de 97,8% à 100% (IC_{95%} : 88,9% - 100%). Pour le Frisby, il est passé de 88,9% à 90,9 % (IC_{95%} : 78,3% - 97,5%). Pour les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire, ils sont passés de 96% à 97,8% (IC_{95%} : 88,3% - 99.9%). Ces changements n'ont donc pas beaucoup d'impact. Pour ce qui est de l'effet de l'apprentissage sur la passation des tests, l'élimination de ces deux sujets influence peu les résultats. Elle amoindrit légèrement les différences. Ainsi, les pourcentages d'amélioration pour les tests de Lang, Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et Randot préscolaire qui étaient de 4,3%, 9,0%, 8,3% et 8,3% sont passés à 0%, 9,0%, 4,5% et 4,5%.

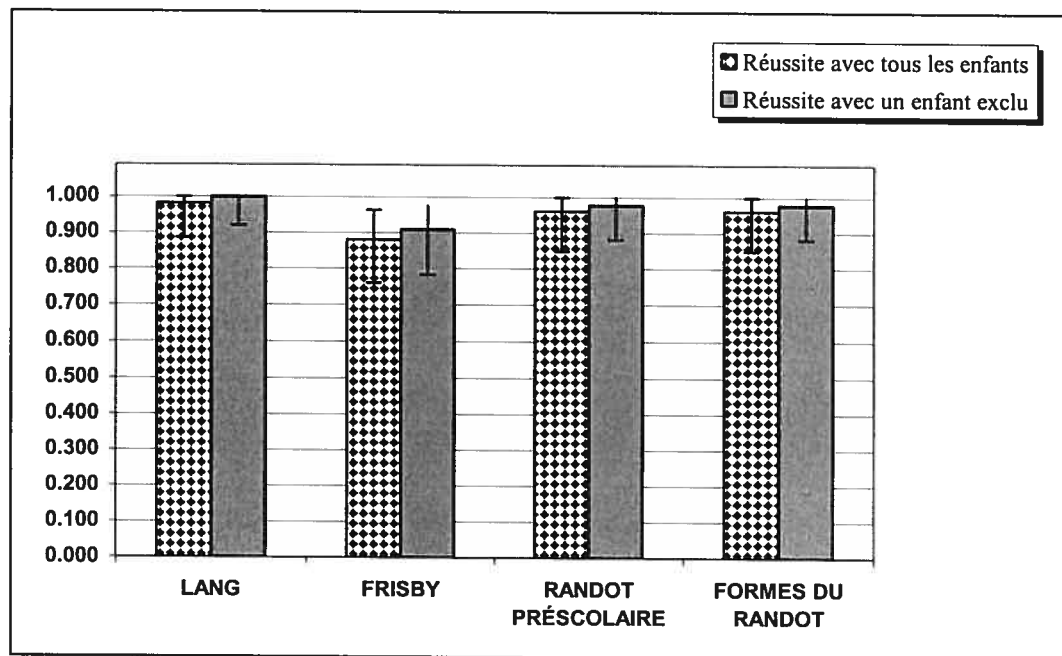


Figure 25 Effet sur la passation de l'exclusion d'un enfant présentant des anomalies binoculaires et réfractives sur le groupe des quatre ans

Dans le groupe des cinq ans, aucun des enfants ne présentait de problème de vision binoculaire ou réfractif.

7 DISCUSSION

7.1 RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

Le test de Lang présente le meilleur taux de passation pour les enfants de deux ans (91,9%). Pour les enfants de trois ans, le taux de passation du test de Lang demeure supérieur à celui de Frisby. À partir de quatre ans, les quatre tests présentent d'excellents taux de passation. L'apprentissage semble influencer positivement la passation des tests des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire chez les sujets de deux et trois ans. Pour ce qui est des tests de Lang et Frisby, une amélioration de la passation est observée après une période de familiarisation bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative. Pour ce qui est des seuils d'acuité stéréoscopique, ils semblent s'améliorer vers l'âge de quatre ans selon les tests de Frisby et Randot préscolaire.

7.2 PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE

Selon ces résultats, le test de stéréoscopie de Lang, avec un taux de passation de 91,9% (IC_{95%} : 78,0% - 98,2%), semble être le meilleur outil pour évaluer la présence de stéréoscopie par rapport au test de Frisby, aux formes du *Randot Stereotest* et au Randot préscolaire chez les enfants de deux ans. Ce test a par contre le désavantage de ne pas mesurer de seuil d'acuité stéréoscopique contrairement aux tests de Frisby et Randot préscolaire. Birch et collaborateurs¹² avaient obtenu un taux de passation

de 70% (IC_{95%} : 41,3% - 89,0%) pour le Randot préscolaire pour un groupe de 2 ans. La taille de leur échantillon était de 16 enfants. Le taux obtenu pour ce groupe d'âge était inférieur dans la présente étude, soit 45,9% (IC_{95%} : 29,5% - 63,1%) en faisant abstraction du sujet numéro 128. Notre échantillon comptait 38 sujets. Par contre, en tenant compte des intervalles de confiance, les résultats ne se contredisent pas. Dans la même étude de Birch et collaborateurs,¹² ces derniers avaient obtenu pour le Lang un taux de passation de 40% (IC_{95%} : 15,2% - 64,6%) ce qui est différent de nos données (91,5%; IC_{95%} : 78,0% - 98,2%). Par contre, à l'exception de l'étude de Birch et collaborateurs¹² les taux de passation obtenus dans notre étude sont similaires à ceux mesurés dans d'autres études.

Selon une étude de Birch et Hale³² datant de 1989, le taux de passation du Lang varierait entre 93% et 100% pour un groupe de 76 enfants âgés entre 19 et 36 mois. Dans une étude de Leat et collaborateurs,⁴⁵ entre 94% et 100% des enfants d'un échantillon de 60 sujets âgés entre 2 et 5 ans pouvaient réussir le Lang dès la première présentation, alors qu'il pouvait être réusit par 79,3% à 100% des 88 sujets âgés entre 19 et 42 mois d'après Lang et Lang.⁵⁷ Ces données sont en accord avec les résultats de notre étude.

En ce qui a trait au groupe des trois ans, il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les taux de passation du Lang, des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire. Le test de Lang demeure celui qui a le taux de passation le plus élevé, soit 97,8% en faisant abstraction des sujets numéros 75 et 139. Il a été compris et bien exécuté par tous les sujets de 3 ans sauf un, le numéro 42, qui n'a pas

été en mesure de répondre à aucun des 4 tests de stéréoscopie présentés même s'il ne semblait présenter aucun problème de vision binoculaire ou réfractif. Le Randot préscolaire présente aussi un bon taux de passation, 91,2% (en faisant abstraction des sujets numéros 75 et 139). Il présente l'avantage non négligeable de mesurer un seuil d'acuité stéréoscopique permettant de mieux évaluer le statut binoculaire et d'en faire le suivi. Le Randot préscolaire semblerait donc être un meilleur outil que le test de Lang pour l'évaluation clinique de la vision binoculaire chez les enfants de trois ans. Le test des formes du *Randot Stereotest* présente le même taux de passation que le Randot préscolaire pour les trois ans, mais ne présente aucun avantage supplémentaire par rapport au test de Lang. Il ne permet pas de mesurer un seuil d'acuité stéréoscopique inférieur à 250 secondes d'arc. Le Lang et les formes du *Randot Stereotest* sont des tests qualitatifs plutôt que quantitatifs. Pour ce qui est du test de Frisby, son taux de passation est un peu inférieur à celui du Lang, 64,9% en faisant abstraction des sujets numéros 75 et 139 ($p < 0.05$). Le taux de passation du test de Frisby obtenu dans la présente étude (64,9%) est similaire à celui rapporté par Hinchliffe⁶ (61.5%) pour un groupe d'enfants de trois ans. Birch et collaborateurs,¹² dans une étude menée auprès de 1214 enfants de 3 ans, n'avaient trouvé aucune différence statistiquement significative entre le Lang et le Randot préscolaire. Ils en avaient toutefois trouvé une entre les formes du *Randot Stereotests* et le Randot préscolaire, 77 % comparativement à 95,1%. Notre échantillon, beaucoup plus modeste, ne semblait pas montrer de différence entre le taux de passation des formes du Randot Stereotests et du Randot préscolaire. Les taux de passation étaient identiques.

Pour le groupe des quatre ans, tous les tests présentent d'excellents taux de passation. Le taux de passation du Lang était de 100% (IC_{95%} : 92,1% - 100%) en faisant abstraction du sujet numéro 81. Il était de 97,8% (IC_{95%} : 88,0% - 99,9%) pour les tests des formes du *Randot Stereotest* et le *Randot* préscolaire toujours en éliminant le sujet numéro 81. Ces tests ont donc été réussis par tous les sujets retenus, sauf le sujet numéro 105 qui en dépit d'états réfractif et binoculaire normaux n'avait réussi que le Lang. Cet enfant avait été évalué immédiatement après sa sieste à la garderie. Son état d'éveil pourrait avoir joué négativement sur les résultats. Le taux de passation du *Frisby* était excellent bien qu'un peu inférieur aux autres, 90,9% (IC_{95%} : 78,3% - 97,5%) sans le sujet numéro 81. Ce taux de passation est comparable à ceux rapportés dans la littérature en tenant compte des intervalles de confiance. Leat et collaborateurs⁴⁵ de même que Simons¹⁰ obtenaient des taux de passation variant de 97 à 100% pour des groupes d'enfants âgés de trois à cinq ans pour le test de *Frisby*. Les quatre tests sembleraient donc adéquats pour l'évaluation de la stéréoscopie pour ce groupe d'âge. De ces tests, le *Frisby* et le *Randot* préscolaire permettent de mesurer un seuil d'acuité stéréoscopique ce qui les rend supérieurs aux deux autres d'un point de vue clinique. Bien que la différence ne soit pas statistiquement significative, le *Randot* préscolaire présente un meilleur taux de passation par rapport au *Frisby* ($p < 0,085$).

Pour le groupe des cinq ans, des taux de passation de 100% (IC_{95%} : 88,4% - 100%) ont été obtenus pour les quatre tests. Ceci laisse supposer que le facteur « compréhension de la tâche » n'a plus d'influence sur la réussite des quatre tests de stéréoscopie étudiés.

Leat et collaborateurs⁴⁵ avaient aussi trouvé une amélioration du taux de passation pour les tests de Frisby et Randot vers l'âge de quatre ans.

7.3 IMPACT DE L'APPRENTISSAGE SUR LE TAUX DE PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE

Pour le groupe des deux ans, une amélioration du taux de passation a été observée pour le groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage par rapport à ceux qui ont exécuté les tests sans en avoir reçu. Toutes les comparaisons feront abstraction des résultats du sujet numéro 128. Pour le test de Lang, les enfants des deux groupes ont obtenu des taux de passation élevés. Donc, aucune différence statistiquement significative n'a été observée. Ce test semble simple à comprendre même par des enfants aussi jeunes que deux ans. Pour le test de Frisby, des différences furent obtenues : 70,60% (IC_{95%} : 44,0% - 89,7%) des enfants ayant reçu une période d'apprentissage ont réussi le test tandis que 50% (IC_{95%} : 25,3% - 74,7%) des enfants qui n'ont pas eu de période d'apprentissage y sont parvenus. Cette différence n'est pas statistiquement significative, mais il semble qu'elle aurait peut-être pu l'être si l'échantillon avait été plus grand. Pour le Randot préscolaire et les formes du *Randot Stereotest*, une amélioration des taux de passation a été observée pour le groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage par rapport à ceux qui ont exécuté les tests sans en avoir reçu. Ces tests semblent plus difficiles à comprendre par les enfants de deux ans. Il s'avère par conséquent nécessaire de faire

une période d'apprentissage avant d'exécuter ces tests afin de maximiser la passation des jeunes enfants.

Pour le groupe des trois ans, une amélioration du taux de passation a été observée pour le groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage par rapport à celui des enfants qui ont exécuté les tests sans en avoir reçu. Toutes les comparaisons feront abstraction des résultats des sujets numéros 75 et 139. Pour le test de Lang, les enfants des deux groupes ont obtenu des taux de passation élevés. Donc, aucune différence statistiquement significative n'a été observée. Ce test semble simple à comprendre et l'apprentissage n'a pas d'impact sur la passation des enfants de trois ans. Pour le test de Frisby, des différences furent obtenues : 76,2% (IC_{95%} : 52,9% - 91,84%) des enfants ayant reçu une période d'apprentissage ont réussi le test tandis que 47,1% (IC_{95%} : 23,0% - 72,2%) des enfants qui n'ont pas eu de période d'apprentissage y sont parvenus. Cette différence n'est pas statistiquement significative, mais il semble qu'elle aurait peut-être pu l'être si l'échantillon avait été plus grand. Pour le Randot préscolaire et les formes du *Randot Stereotest*, une amélioration des taux de passation a été observée pour le groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage par rapport à ceux qui ont exécuté les tests sans en avoir reçu. Ces tests semblent plus difficiles à comprendre par les enfants de trois ans. Il s'avère par conséquent nécessaire de faire une période d'apprentissage avant d'exécuter ces tests afin de maximiser la passation des enfants jusqu'à l'âge de trois ans.

Pour le groupe des quatre ans, une amélioration des taux de passation a été observée pour le groupe d'enfants ayant reçu une période d'apprentissage par rapport à celui des enfants qui ont exécuté les tests sans en avoir reçu. Toutes les comparaisons feront abstraction des résultats du sujet numéro 81. Les taux de passation étaient élevés pour les deux groupes d'enfants, avec et sans apprentissage, pour les tests de Lang, Frisby, Randot préscolaire et les formes du *Randot Stereotest*. Ces résultats permettent de supposer que ces tests sont aisés à passer pour les enfants de quatre ans et qu'une période d'apprentissage n'est pas nécessaire avant l'exécution des tests pour ce groupe d'âge.

Pour le groupe des cinq ans, des taux de passation de 100% ont été obtenus pour les quatre tests ($IC_{95\%}$: 75,3% - 100%). L'apprentissage ne semblerait pas influencer les résultats. Les enfants de cet âge sembleraient comprendre facilement les tests de Lang, Frisby, des formes du *Randot Stereotest* et du Randot préscolaire.

En 1989 Birch et collaborateurs³² avaient effectué une étude afin d'évaluer le développement de l'acuité stéréoscopique avec l'âge. Ils avaient utilisé les tests de Lang, Titmus et Randot et leurs sujets étaient âgés entre deux et cinq ans. Ils avaient entraîné tous leurs sujets avant d'effectuer les tests. Leurs taux de passation se sont avérés supérieurs aux études précédentes. Pour le Lang, ils avaient obtenu des taux de 93% ($IC_{95\%}$: 57,6% - 100%) pour les sujets de 2 ans et de 100% ($IC_{95\%}$: 76,8% - 100%) pour ceux du groupe des 5 ans. Pour le Randot, ils étaient de 54% ($IC_{95\%}$: 28,9% - 79,1%) pour les sujets de deux ans et de 100% ($IC_{95\%}$: 76,7% - 100%) pour les groupes plus âgés. Ces résultats laissent supposer que

l'apprentissage influencerait positivement la passation. Ces taux de passation sont similaires à ceux obtenus dans notre étude.

En 1986, Fox et collaborateurs⁴⁷ avaient utilisé un test expérimental pour mesurer l'acuité stéréoscopique chez une population d'enfants âgés entre trois et cinq ans. Ils avaient préalablement entraîné les enfants de façon comparable à la présente étude. Leur seuil médian était de 12,6 secondes d'arc ce qui est bien au-delà des seuils obtenus en moyenne par d'autres techniques. Par conséquent, ces données laissent supposer que l'apprentissage puisse avoir un effet bénéfique sur les résultats.

7.4 IMPACT DU PORT DE LUNETTES POLARISÉES SUR LA PASSATION DES TESTS EN FONCTION DE L'ÂGE

Pour les deux ans, les résultats du sujet numéro 128 ont été éliminés des statistiques. Le taux de passation pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées était de 94,6% (IC_{95%} : 81,8% - 99,3%) comparativement à 45,9%(IC_{95%} : 28,6% - 61,9%) pour ceux où le port de lunettes polarisées était requis. Le port de lunettes polarisées semblerait peut-être influencer négativement la passation chez les sujets de deux ans. Ce résultat pourrait peut-être aussi s'expliquer par le fait que le test de Lang requiert moins d'attention et de collaboration de la part de l'enfant et pourrait être passé plus aisément que les formes du *Randot Stereotest* et le *Randot* préscolaire pour les enfants en bas âge. Aucun enfant peu importe le groupe d'âge n'a refusé de porter les lunettes polarisées.

Pour les trois et quatre ans, la différence du taux de passation entre les tests nécessitant ou ne nécessitant pas de lunettes polarisées s'amointrit jusqu'à devenir nulle à l'âge de cinq ans où tous les sujets ont été capables de passer les quatre tests.

7.5 SEUILS D'ACUITÉ STÉRÉOSCOPIQUE POUR LES TESTS DE STÉRÉOSCOPIE EN FONCTION DE L'ÂGE

Deux des tests de stéréoscopie étudiés sont conçus pour déterminer un seuil d'acuité stéréoscopique, le Frisby et le Randot préscolaire. Les seuils d'acuité stéréoscopique obtenus pour ces tests étaient supérieurs pour les enfants de deux et trois ans par rapport à ceux des enfants de quatre et cinq ans. Ces résultats suggèrent une amélioration de l'acuité stéréoscopique durant la période étudiée, soit entre deux et cinq ans, et/ou une augmentation de la compréhension de l'enfant avec l'âge. Pour les tests de Frisby et Randot préscolaire, les seuils médians d'acuité stéréoscopique sont les mêmes pour les deux et trois ans, soit 170 et 60 secondes d'arc respectivement. Une diminution de la valeur des seuils médians d'acuité stéréoscopique a été observée pour les quatre et cinq ans pour les tests de Frisby et Randot préscolaire, soit 55 et 40 secondes d'arc. Le Lang et les formes du *Randot Stereotest* ne sont pas conçus pour mesurer la progression du seuil d'acuité stéréoscopique. Birch et collaborateurs¹² avaient obtenu avec le Randot préscolaire des seuils médians d'acuité stéréoscopique de 100 et 200 secondes d'arc dans 2 endroits différents pour les enfants de 2 ans. Chez les 3 ans, le seuil médian qu'ils avaient obtenu était de 60 secondes d'arc. Pour les 4 et 5 ans, il était de 40 secondes d'arc. Les résultats de notre étude sont similaires. Une amélioration du seuil est

observée vers l'âge de quatre ans. La principale différence réside dans les seuils d'acuité stéréoscopique obtenus pour les deux ans. Pour l'étude de Birch et collaborateurs,¹² le seuil de 100 secondes d'arc qu'ils avaient obtenu provenait d'un échantillon de 10 sujets et leur seuil de 200 secondes d'arc, d'un échantillon de 6 sujets. L'échantillon de la présente étude comptait trente-huit sujets et le seuil obtenu était de 60 secondes d'arc. La supériorité de la taille de l'échantillon de la présente étude suggère que le seuil obtenu est plus précis. Selon l'étude de Ciner et collaborateurs,⁴² utilisant le principe du choix forcé, l'acuité stéréoscopique des enfants varierait de 100 secondes d'arc entre l'âge de 24 et 29 mois à 55 secondes d'arc entre 29 et 36 mois. Pour les quatre ans, ils obtenaient une acuité stéréoscopique moyenne de 48 secondes d'arc. Ces valeurs sont en accord avec les résultats obtenus dans cette étude. Selon Ciner et collaborateurs⁴¹ cette progression des valeurs d'acuité stéréoscopique avec l'âge serait probablement un résultat de la diminution de la variabilité des réponses plutôt qu'une modification neurophysiologique du système visuel. Simons¹⁶ a obtenu avec le test de Frisby pour une population d'enfants âgés entre 3 et 5 ans un seuil moyen de 250 secondes d'arc. Ce seuil est supérieur aux valeurs obtenues dans cette étude; 170 secondes d'arc pour les enfants de 3 ans et 55 secondes d'arc pour ceux de 4 et 5 ans. Selon les données d'Amigo,⁴⁶ en 1973, aucun enfant de moins de 4 ans n'a une sensibilité supérieure à 100 secondes d'arc ce qui est en désaccord avec les résultats obtenus.

8 CONCLUSION

Notre étude a démontré que le test de Lang est le meilleur outil pour l'évaluation de la stéréoscopie des enfants de deux ans parmi les quatre tests évalués dans cette étude: le Lang, le Frisby, les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire. Il présente le meilleur taux de passation, soit 91,9% comparativement à 54,1%, 45,9% et 45,9%. Pour le groupe de trois ans, le Lang demeure supérieur au test de Frisby pour l'évaluation de la stéréoscopie avec un taux de passation de 97,4% comparativement à 64,9%. Cependant, à cet âge le Randot préscolaire présente aussi un bon taux de passation, 91,2% et possède l'avantage non négligeable de mesurer plus précisément un seuil d'acuité stéréoscopique par rapport au Lang ce qui permet de mieux évaluer le statut binoculaire et d'en faire le suivi. Conséquemment, le Randot préscolaire semble le meilleur test pour l'évaluation de la stéréoscopie pour les enfants de trois ans. À partir de quatre ans, les quatre tests présentent d'excellents taux de passation. Le test de Frisby et le Randot préscolaire semblent être les meilleurs outils pour l'évaluation de la stéréoscopie à partir de cet âge puisqu'ils permettent de mesurer un seuil d'acuité stéréoscopique contrairement au test de Lang et aux formes du *Randot Stereotest*.

Notre étude montre aussi que l'apprentissage améliore les taux de passation du Randot préscolaire et des formes du *Randot Stereotest* pour les enfants de deux et trois ans. Il paraît important de faire une période d'apprentissage avant l'exécution de ces tests afin de maximiser la passation des enfants jusqu'à l'âge de trois ans inclusivement.

Le port de lunettes polarisées semble influencer négativement la passation des tests chez les enfants de deux ans selon nos résultats. Le taux de passation pour les tests ne nécessitant pas le port de lunettes polarisées est de 94,6% comparativement à 45,9% pour ceux où il est requis. Toutefois, comme aucun enfant n'a refusé de porter les lunettes polarisées, ce résultat pourrait également être attribuable au fait que la tâche exigée par le test de Lang nécessite moins d'attention et de collaboration de la part de l'enfant en bas âge que celle demandée par les formes du *Randot Stereotest* et le Randot préscolaire. Les différences de conception des tests les rendent difficiles à comparer.

Finalement, notre étude a montré une amélioration des seuils d'acuité stéréoscopique avec l'âge. Pour les enfants de deux et trois ans un seuil de 170 secondes d'arc est mesuré avec le test de Frisby et de 60 secondes d'arc avec le Randot préscolaire. Nous avons observé un progrès à l'âge de quatre ans. Ainsi, pour les enfants de quatre et cinq ans un seuil de 55 secondes d'arc est obtenu avec le test de Frisby et de 40 secondes d'arc avec le Randot préscolaire. Ces valeurs s'approchent des seuils adultes.

Une augmentation de la taille de l'échantillon aurait sans doute permis de dégager des conclusions plus nettes. En effet, en rétrécissant l'intervalle de confiance, les chances d'obtenir des différences statistiquement significatives auraient été améliorées. Aussi, un plus grand échantillon est plus représentatif de la réalité. Il serait intéressant qu'un test du même type que le Lang, mais permettant de mesurer un

seuil, donc utilisant des disparités plus fines, soit développé. Ce test serait idéal pour l'évaluation stéréoscopique des jeunes enfants, car il est facile à passer.

D'un point clinique, les résultats de notre étude sont importants. Ils permettent aux cliniciens de sélectionner de manière plus appropriée les tests de stéréoscopie en fonction de l'âge des enfants à examiner. Selon les résultats obtenus, le test de Lang semble un meilleur outil pour l'évaluation de la stéréoscopie chez les enfants de deux ans. Il semble aisé à comprendre et son utilisation de routine en clinique est appropriée pour les enfants de deux ans. Pour les enfants de trois ans, le Randot préscolaire paraît le plus approprié puisqu'il présente, tout comme le Lang et les formes du *Randot Stereotest*, un excellent taux de passation, mais qu'au surplus il permet de mesurer le seuil d'acuité stéréoscopique. Cet avantage est important puisqu'il permet d'établir plus précisément le statut de la vision binoculaire. Pour les enfants de quatre et cinq ans, les quatre tests présentent d'excellents taux de passation. Toutefois, les tests de Frisby et Randot préscolaire sont plus appropriés cliniquement puisqu'ils permettent de quantifier un seuil d'acuité stéréoscopique. De plus, il semble adéquat d'effectuer une période d'apprentissage pour les enfants de deux à trois ans avant de présenter le test de stéréoscopie afin d'améliorer sa passation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Le Grand Yves. Optique physiologique. Éditions de la revue de L'Optique ed. Paris; 1964; Tome 3: L'espace visuel. ISBN: ww103 L517o-2 V.3.
2. Office québécoise de la langue française. Grand dictionnaire terminologique de la langue française . 2004.
3. Kaufman, P. L. and Alm, A. Adler's physiology of the eye : clinical application. St-Louis: Mosby; 2003; 10e p. 876. ISBN: 0323011365.
4. Zanoni, D. and Rosenbaum, A. L. A new method for evaluating distance stereo acuity. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 1991 Sep-1991 Oct 31; 28(5):255-60.
5. Cooper, J. Clinical stereopsis testing: contour and random dot stereograms. J Am Optom Assoc. 1979 Jan; 50(1):41-6.
6. Hinchliffe, H. A. Clinical evaluation of stereopsis. Brit Orthopt J. 1978; 35:46-57.
7. Gwiazda, J.,Scheiman, M.,Mohindra, I.et al. Astigmatism in children: changes in axis and amount from birth to six years. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984 Jan; 25(1):88-92.
8. Cooper, J.,Feldman, J., and Medlin, D. Comparing stereoscopic performance of children using the Titmus, TNO, and Randot stereo tests. J Am Optom Assoc. 1979 Jul; 50(7):821-5.
9. Over, R. and Long, N. Depth is visible before figure in stereoscopic perception of random-dot patterns. Vision Res. 1973 Jun; 13(6):1207-9.
10. Simons, K. A comparison of the Frisby, Random-Dot E, TNO, and Randot circles stereotests in screening and office use. Arch Ophthalmol. 1981 Mar; 99(3):446-52.
11. Larson, W. L. Does the Howard-Dolman really measure stereoacuity? Am J Optom Physiol Opt. 1985 Nov; 62(11):763-7.
12. Birch, E.,Williams, C.,Hunter, J.et al. Random dot stereoacuity of preschool children. ALSPAC "Children in Focus" Study Team. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 1997 Jul-1997 Aug 31; 34(4):217-22; quiz 247-8.

13. Randot stereotests. Instruction manuel Stereo Optical co. 1988. Chicago.
14. Frisby, J. P. Stereoacuity assessment Clement Clarke international ltd. London.
15. Frisby, J. P., Mein, J., Saye, A. et al. Use of random-dot stereograms in the clinical assessment of strabismic patients. *Br J Ophthalmol.* 1975 Oct; 59(10):545-52.
16. Simons, K. Stereoacuity norms in young children. *Arch Ophthalmol.* 1981 Mar; 99(3):439-45.
17. Richards, W. Stereopsis with and without monocular contours. *Vision Res.* 1977; 17(8):967-9.
18. Simons, K. and Elhatton, K. Artifacts in fusion and stereopsis testing based on red/green dichoptic image separation. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1994 Sep-1994 Oct 31; 31(5):290-7.
19. Dobson, V., Fulton, A. B., and Sebris, S. L. Cycloplegic refractions of infants and young children: the axis of astigmatism. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984 Jan; 25(1):83-7.
20. Arthur, B. W., Marshall, A., and McGillivray, D. Worth vs Polarized four-dot test. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1993 Jan-1993 Feb 28; 30(1):53-5.
21. Reinecke, R. D. and Simons, K. A new stereoscopic test for amblyopia screening. *Am J Ophthalmol.* 1974 Oct; 78(4):714-21.
22. Matsuo, T., Kawaishi, Y., Kuroda, R. et al. Long-term visual outcome in primary microtropia. *Jpn J Ophthalmol.* 2003 Sep-2003 Oct 31; 47(5):507-11.
23. Cooper, J. and Feldman, J. Random-dot-stereogram performance by strabismic, amblyopic, and ocular-pathology patients in an operant-discrimination task. *Am J Optom Physiol Opt.* 1978 Sep; 55(9):599-609.
24. Tomac, S. Binocularity in refractive accommodative esotropia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2002 Jul-2002 Aug 31; 39(4):226-30.
25. Tomac, S., Sener, E. C., and Sanac, A. S. Clinical and sensorial characteristics of microtropia. *Jpn J Ophthalmol.* 2002 Jan-2002 Feb 28; 46(1):52-8.
26. Hugonnier, R. and Hugonnier, S. *Strabismes, hétérophories, paralysies oculo-motrices: les déséquilibres oculo-moteurs en clinique*. 4e ed. Paris: Masson; 1981; p. 536.

27. Atkinson, J., Anker, S., Bobier, W. et al. Normal emmetropization in infants with spectacle correction for hyperopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000 Nov; 41(12):3726-31.
28. Marsh, W. R., Rawlings, S. C., and Mumma, J. V. Evaluation of clinical stereoacuity tests. *Ophthalmology*. 1980 Dec; 87(12):1265-72.
29. Lee, S. Y. and Isenberg, S. J. The relationship between stereopsis and visual acuity after occlusion therapy for amblyopia. *Ophthalmology*. 2003 Nov; 110(11):2088-92.
30. Stigmar, G. Blurred visual stimuli. II. The effect of blurred visual stimuli on vernier and stereo acuity. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1971; 49(3):364-79.
31. Tomac, S. and Birdal, E. Effects of anisometropia on binocularity. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2001 Jan-2001 Feb 28; 38(1):27-33.
32. Birch, E. E. and Hale, L. A. Operant assessment of stereoacuity. *Clin Vision Sci*. 1989; 4(4):295-300.
33. Birch, E. and Petrig, B. FPL and VEP measures of fusion, stereopsis and stereoacuity in normal infants. *Vision Res*. 1996 May; 36(9):1321-7.
34. Sokol, S. and Moskowitz, A. Comparison of pattern VEPs and preferential-looking behavior in 3-month-old infants. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1985 Mar; 26(3):359-65.
35. Held, R., Birch, E., and Gwiazda, J. Stereoacuity of human infants. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1980 Sep; 77(9):5572-4.
36. Braddick, O. Binocularity in infancy. *Eye*. 1996; 10 (Pt 2):182-8.
37. Corbé, C. Le développement de la vision de l'enfant. *L'Optique Français Et L'Opticien-Lunetier*. 2002; 561:7-9.
38. Calloway, S. L., Lloyd, I. C., and Henson, D. B. A clinical evaluation of random dot stereoacuity cards in infants. *Eye*. 2001 Oct; 15(Pt 5):629-34.
39. Braddick, O., Wattam-Bell, J., Day, J. et al. The onset of binocular function in human infants. *Hum Neurobiol*. 1983; 2(2):65-9.
40. Skarf, B., Eizenman, M., Katz, L. M. et al. A new VEP system for studying binocular single vision in human infants. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 1993 Jul-1993 Aug 31; 30(4):237-42.

41. Ciner, E. B., Schanel-Klitsch, E., and Scheiman, M. Stereoacuity development in young children. *Optom Vis Sci.* 1991 Jul; 68(7):533-6.
42. Ciner, E. B., Schanel-Klitsch, E., and Herzberg, C. Stereoacuity development: 6 months to 5 years. A new tool for testing and screening. *Optom Vis Sci.* 1996 Jan; 73(1):43-8.
43. Birch, E. E. and Salomao, S. Infant random dot stereoacuity cards. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1998 Mar-1998 Apr 30; 35(2):86-90.
44. Hendrickson, A. E. and Yuodelis, C. The morphological development of the human fovea. *Ophthalmology.* 1984 Jun; 91(6):603-12.
45. Leat, S. J., Pierre, J. S., Hassan-Abadi, S. et al. The moving Dynamic Random Dot Stereosize test: development, age norms, and comparison with the Frisby, Randot, and Stereo Smile tests. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2001 Sep-2001 Oct 31; 38(5):284-94.
46. Amigo G. Preschool vision study. *Brit J Ophthalmol.* 1973 Feb; 57(2):125-32.
47. Fox, R., Patterson, R., and Francis, E. L. Stereoacuity in young children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986 Apr; 27(4):598-600.
48. Simmerman, J. S. Absolute threshold of stereopsis using the Frisby stereotest. *J Am Optom Assoc.* 1984 Jan; 55(1):50-3.
49. Frisby, J. P., Davis, H., and McMorrow, K. An improved training procedure as a precursor to testing young children with the Frisby Stereotest. *Eye.* 1996; 10 (Pt 2):286-90.
50. Gruber, J., Dickey, P., and Rosner, J. Comparison of a modified (two-item) Frisby with the standard Frisby and Random-Dot E stereotests when used with preschool children. *Am J Optom Physiol Opt.* 1985 May; 62(5):349-51.
51. Lang J. Lang-stereotest Optic 2000. France.
52. Smith, G. M. Evaluation of the Frisby screening plate and Lang II stereotest in primary vision screening in pre-school children. *Brit Orthop J.* 1995; 52:1-4.
53. Lang, J. I. and Lang, T. J. Eye screening with the Lang stereotest. *Am Orthopt J.* 1988; 38:48-50.
54. Schmidt, P. P. and Kulp, M. T. Detecting ocular and visual anomalies in a vision screening setting using the Lang stereotest. *J Am Optom Assoc.* 1994 Oct; 65(10):725-31.

55. Rasmussen, F., Thoren, K., Caines, E. et al. Suitability of the lang II random dot stereotest for detecting manifest strabismus in 3-year-old children at child health centres in Sweden. *Acta Paediatr.* 2000 Jul; 89(7):824-9.
56. Graf, M. H., Becker, R., and Kaufmann, H. Lea symbols: visual acuity assessment and detection of amblyopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2000 Jan; 238(1):53-8.
57. Howland, H. C. and Sayles, N. Photorefractive measurements of astigmatism in infants and young children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984 Jan; 25(1):93-102.