



HAL
open science

Stratégies du regard de l'enfant et photo-oculographie binoculaire: faisabilité et pertinence

Emilie Rumilly

► **To cite this version:**

Emilie Rumilly. Stratégies du regard de l'enfant et photo-oculographie binoculaire: faisabilité et pertinence. Sciences du Vivant [q-bio]. 2007. hal-01734149

HAL Id: hal-01734149

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01734149>

Submitted on 14 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

par

Emilie RUMILLY

Le 19 octobre 2007

STRATEGIES DU REGARD DE L'ENFANT ET PHOTO-OCULOGRAPHIE BINOCULAIRE FAISABILITE ET PERTINENCE

Examineurs de la thèse :

M. JM. ANDRE	Professeur	Président
M. P. MONIN	Professeur	Juge
M. J. PAYSANT	Professeur	Juge
Mme A. VIEHL-BENMERIDJA	Docteur en Médecine	Juge
M. E. RAFFO	Docteur en Médecine	Juge

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1
FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Patrick NETTER

Vice-Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Asseseurs :

du 1^{er} Cycle :

du 2^{ème} Cycle :

du 3^{ème} Cycle :

de la Vie Facultaire :

M. le Professeur François ALLA

M. le Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

M. le Professeur Marc BRAUN

M. le Professeur Bruno LEHEUP

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Jacques ROLAND

PROFESSEURS HONORAIRES

Jean LOCHARD – René HERBEUVAL – Gabriel FAIVRE – Jean-Marie FOLIGUET

Guy RAUBER – Paul SADOUL – Raoul SENAULT

Jacques LACOSTE – Jean BEUREY – Jean SOMMELET – Pierre HARTEMANN – Emile de LAVERGNE

Augusta TREHEUX – Michel MANCIAUX – Paul GUILLEMIN – Pierre PAYSANT

Jean-Claude BURDIN – Claude CHARDOT – Jean-Bernard DUREUX – Jean DUHELLE –

Jean-Marie GILGENKRANTZ – Simone GILGENKRANTZ

Pierre ALEXANDRE – Robert FRISCH – Michel PIERSON – Jacques ROBERT

Gérard DEBRY – Michel WAYOFF – François CHERRIER – Oliéro GUERCI

Gilbert PERCEBOIS – Claude PERRIN – Jean PREVOT – Jean FLOQUET

Alain GAUCHER – Michel LAXENAIRE – Michel BOULANGE – Michel DUC – Claude HURIET – Pierre LANDES

Alain LARCAN – Gérard VAILLANT – Daniel ANTHOINE – Pierre GAUCHER – René-Jean ROYER

Hubert UFFHOLTZ – Jacques LECLERE – Francine NABET – Jacques BORRELLY

Michel RENARD – Jean-Pierre DESCHAMPS – Pierre NABET – Marie-Claire LAXENAIRE – Adrien DUPREZ – Paul VERT -

Bernard LEGRAS – Pierre MATHIEU – Jean-Marie POLU - Antoine RASPILLER – Gilbert THIBAUT

Michel WEBER – Gérard FIEVE – Daniel SCHMITT – Colette VIDAILHET – Alain BERTRAND – Hubert GERARD

Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN – Michel STRICKER – Daniel BURNEL – Michel VIDAILHET – Claude BURLET –

Jean-Pierre DELAGOUTTE – Jean-Pierre MALLIÉ – Danièle SOMMELET – Professeur Luc PICARD

Professeur Guy PETIET

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Professeur Jacques ROLAND – Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Professeur Luc PICARD – Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Professeur Jean-Pierre CRANCE

Professeur François MARCHAL – Professeur Philippe HAOUZI

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire (type mixte : biologique))

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Professeur Olivier ZIEGLER

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)

Professeur Alain LOZNIOWSKI

2^{ème} sous-section : (Parasitologie et mycologie)

Professeur Bernard FORTIER

3^{ème} sous-section : (Maladies infectieuses ; maladies tropicales)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Épidémiologie, économie de la santé et prévention)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON

Professeur Francis GUILLEMIN – Professeur Denis ZMIROU-NAVIER – Professeur François ALLA

2^{ème} sous-section : (Médecine et santé au travail)

Professeur Guy PETIET – Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (Médecine légale et droit de la santé)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Professeur Christian JANOT – Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Pierre LEDERLIN – Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Pierre BEY – Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Dan LONGROIS – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES

2^{ème} sous-section : (Réanimation médicale)

Professeur Henri LAMBERT – Professeur Alain GERARD

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT – Professeur Bruno LÉVY

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique)

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédopsychiatrie)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean-Marie ANDRE – Professeur Jean PAYSANT

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeur Jacques POUREL – Professeur Isabelle VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Daniel MOLE

Professeur Didier MAINARD – Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénérologie)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique)

Professeur François DAP

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT

Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACE

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie)

Professeur Marc-André BIGARD

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

2^{ème} sous-section : (Chirurgie digestive)

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN (Mme) – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Luc CORMIER

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne)

Professeur Denise MONERET-VAUTRIN – Professeur Denis WAHL

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY – Professeur Abdelouahab BELLOU

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ayav AHMET

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE,
ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pierre MONIN

Professeur Jean-Michel HASCOET – Professeur Pascal CHASTAGNER – Professeur François FEILLET –
Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Gilles DAUTEL – Professeur Pierre JOURNEAU

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO – Professeur Bruno DEVAL

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie et maladies métaboliques)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Docteur Edouard BARRAT

Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Docteur Béatrice MARIE

Docteur Laurent ANTUNES

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Docteur Gérard ETHEVENOT – Docteur Nicole LEMAU de TALANCE – Docteur Christian BEYAERT

Docteur Bruno CHENUÉL

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Docteur Didier QUILLIOT – Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)

Docteur Francine MORY – Docteur Christine LION

Docteur Michèle DAILLOUX – Docteur Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (Parasitologie et mycologie)

Docteur Marie-France BIAVA – Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Docteur Marie MACHOUART

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Epidémiologie, économie de la santé et prévention)

Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE

4^{ème} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Docteur Pierre GILLOIS

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Docteur François SCHOONEMAN

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique))

Docteur Lina BEZDETNYA épouse BOLOTINE

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Docteur Anne KENNEL – Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Docteur Christophe PHILIPPE

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)

Docteur Jacqueline HELMER – Docteur Gérard AUDIBERT

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)

Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

50^{ème} Section : RHUMATOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Docteur Anne-Christine RAT

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE,
ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

5^{ème} sous-section : (Biologie et médecine du développement et de la reproduction)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE

Monsieur Vincent LHUILLIER

40^{ème} section : SCIENCES DU MÉDICAMENT

Monsieur Jean-François COLLIN

60^{ème} section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64^{ème} section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

Monsieur Franck DALIGAULT

65^{ème} section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Pierre TANKOSIC – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS
Madame Natalia DE ISLA

66^{ème} section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

67^{ème} section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE

Madame Nadine MUSSE

68^{ème} section : BIOLOGIE DES ORGANISMES

Madame Tao XU-JIANG

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale

Professeur associé Alain AUBREGE

Docteur Francis RAPHAEL

Docteur Jean-Marc BOIVIN

Docteur Jean-Louis ADAM

Docteur Elisabeth STEYER

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Michel BOULANGE – Professeur Alain LARCAN - Professeur Daniel ANTHOINE

Professeur Paul VERT - Professeur Pierre MATHIEU - Professeur Gilbert THIBAUT

Mme le Professeur Colette VIDAILHET – Professeur Alain BERTRAND - Professeur Jean-Pierre NICOLAS

Professeur Michel VIDAILHET – Professeur Marie-Claire LAXENAIRE - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ

Mme le Professeur Simone GILGENKRANTZ - Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE – Professeur Danièle SOMMELET

Professeur Luc PICARD - Professeur Guy PETIET

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)

Université de Stanford, Californie (U.S.A)

Professeur Paul MICHIELSEN (1979)

Université Catholique, Louvain (Belgique)

Professeur Charles A. BERRY (1982)

Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)

Brown University, Providence (U.S.A)

Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)

Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)

Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)

Wanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Harry J. BUNCKE (1989)

Université de Californie, San Francisco (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)

Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)

Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)

Université de Pennsylvanie (U.S.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)

Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)

Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur James STEICHEN (1997)

Université d'Indianapolis (U.S.A)

Professeur Duong Quang TRUNG (1997)

Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des

Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

A notre Maître et Président de thèse

Monsieur le Professeur Jean-Marie ANDRE

Professeur de Médecine physique et de réadaptation

Chevalier dans l'Ordre National de la Légion d'Honneur

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

Nous avons admiré votre sens pédagogique, votre ouverture d'esprit et l'intérêt que vous portez à vos élèves.

Que ce travail, que vous nous avez confié, soit le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

A notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Pierre MONIN

Professeur de Pédiatrie

Vous nous faites l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Votre présence, votre soutien et les encouragements que vous nous avez prodigués, nous ont infiniment touché.

Recevez l'expression de notre profonde gratitude et de notre respect.

A notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Jean PAYSANT

Professeur de Médecine physique et de réadaptation

Vous nous faites l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Nous avons apprécié votre disponibilité et sommes sensibles à l'intérêt que vous portez
à ce travail.

Recevez l'expression de notre profond respect.

A notre Juge

Madame le Docteur Anne VIELH-BENMERIDJA

Docteur en médecine

Vous nous faites l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Votre dynamisme et votre professionnalisme sont pour nous un exemple.

Nous sommes fiers de votre présence dans ce jury et nous vous prions d'accepter nos remerciements.

A notre Juge

Monsieur le Docteur Emmanuel RAFFO

Docteur en médecine

Vous nous faites l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Nous avons eu la chance de bénéficier de vos précieux conseils pendant ces années d'apprentissage et avons apprécié votre enthousiasme.

Que cette thèse soit le gage de notre amitié.

Nous remercions :

l'ensemble des enfants ayant participé à cette étude, ainsi que leurs parents,

Madame le Docteur Rumeau, pour nous avoir accueilli, ainsi que son équipe, au sein du service de Médecine physique et de réadaptation de l'hôpital d'enfants dans le cadre de ce travail,

Madame le Docteur Demet pour sa contribution bibliographique,

Monsieur le Docteur Beis, pour ses précieux conseils,

Madame le Docteur Empereur pour son soutien amical et le soin apporté aux statistiques,

Madame Huguenin et Monsieur Protto pour leurs actives collaborations,

Monsieur Follet pour sa patience et l'encadrement technique apporté à ce travail.

Nous remercions vivement :

les médecins, des services de Pédiatrie de l'hôpital d'enfants de Nancy, du CHR de Thionville et du service de Neuropédiatrie de Lille,
des services de Médecine physique et réadaptation des centres de Flavigny-sur-Moselle et Lay-Saint-Christophe,
du Centre de Médecine préventive de Nancy,
du Département d'Informatique Médicale du CHR de Metz,
qui nous ont accueillie et formée pendant notre internat,

les thérapeutes et l'ensemble des équipes de ces services,
avec lesquels nous avons éprouvé beaucoup de plaisir à travailler.

A mes parents qui m'ont fait confiance, soutenue, et transmis leur dynamisme.
Avec toute mon admiration et ma profonde affection.

A mon frère, Nicolas, en témoignage de mon attachement.

A mes grands-parents, dont les qualités humaines et les valeurs me guident depuis toujours.

A toute ma famille.

A Madame Odette Gustin.

A Claude et Alain, leurs enfants et petits-enfants.

A mes amis pour leur soutien inconditionnel.

A Thierry et Blaise,

SERMENŒ

"Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque".

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	18
INTRODUCTION.....	21
PREMIERE PARTIE : le regard et son exploration.....	23
I. Bases anatomiques du regard normal.....	24
1. Introduction.....	24
2. La recherche visuelle	24
a) Les saccades.....	24
b) Les fixations.....	25
c) Les mouvements de poursuite oculaire	26
d) Les effecteurs : muscles oculomoteurs	27
3. Structures cérébrales responsables de l'organisation fonctionnelle du regard.....	28
4. Les autres mouvements oculaires.....	31
a) Le réflexe vestibulo-oculaire et le réflexe optocinétique.....	31
b) Les mouvements de vergence.....	31
II. L'attention	31
III. Stratégie visuelle chez l'enfant normal et son exploration.....	33
1. Développement de la stratégie visuelle de l'enfant normal	33
2. Techniques d'exploration des stratégies visuelles chez l'enfant	35
a) Electro-oculographie (EOG) (Fenn & Hursh, 1934)	35
b) Technique du reflet cornéen	36
c) Technique galvanométrique	36
IV. Photo-oculographie.....	36
1. Principe	36
2. Historique	37
a) Principe de Hirschberg	37
b) La photo-oculographie différentielle	37
c) Technique par reconnaissance des formes.....	38
d) Systèmes de mesure automatiques.....	39
3. Applications	40
a) Non médicales	40
b) Cliniques	40
DEUXIEME PARTIE : étude personnelle	42
I. Objectif de l'étude et intérêt de la photo-oculographie.....	43
II. Méthodologie et matériel utilisé	43
1. Population étudiée	43
2. Lieu d'évaluation	43
3. Tests visuels	43
a) Diaporama d'images fixes	43
b) Diaporama de vidéos	46
4. Variables étudiées	46
a) Concernant la population	46
b) Concernant l'évaluation du regard	46
5. Matériel utilisé et déroulement de l'examen.....	47
a) Le photo-oculographe : FaceLAB™ ¹	47
b) Gaze Tracker® ²	50

c) Déroulement de l'examen	51
III. Résultats	52
1. Population étudiée	52
2. Variables qualitatives	53
a) Amorçage du regard	53
b) Stratégie du regard	56
c) Ordre du texte	59
d) Suivi du chemin	59
e) Poursuite visuelle	60
f) Trajectoire du regard entre deux cibles, précision du regard, exhaustivité du regard, qualité de la perception	60
3. Variables quantitatives	61
a) Données globales	61
b) Variables calculées en fonction des zones d'intérêt	65
TROISIEME PARTIE : discussion	71
I. Généralités	72
II. Faisabilité de la technique chez l'enfant	72
III. Choix des tests	73
IV. Analyse qualitative des résultats	74
1. Amorçage et stratégie du regard	74
2. Ordre du texte	74
3. Poursuite visuelle	74
4. Trajectoire du regard entre deux cibles et suivi du chemin	75
5. Précision du regard	75
6. Exhaustivité du regard	75
V. Analyse quantitative des résultats	76
1. Qualité de l'enregistrement	76
2. Données globales concernant les fixations et les saccades	76
a) Durée moyenne des fixations et des saccades	76
b) Nombre et durées totales des fixations et des saccades	77
3. Analyse des variables quantitatives selon les zones d'intérêt prédéfinies	78
QUATRIEME PARTIE : pertinence et applications	81
I. Faisabilité et pertinence	82
II. Perspectives	82
III. Limites	84
IV. Protocole d'étude proposé	84
CONCLUSION	85
BIBLIOGRAPHIE	87

INTRODUCTION

L'utilisation des techniques de photo-oculographie pour l'étude des comportements visuels humains n'a cessé de se développer ces vingt dernières années. Les champs d'application sont larges, intéressant le domaine médical comme celui de « l'ergonomie cognitive » dans des activités aussi variées que le marketing publicitaire, les technologies de l'information et de la communication ou l'évaluation du comportement des conducteurs et des pilotes aéronautiques.

L'émergence de systèmes moins contraignants, plus simples d'utilisation et offrant la possibilité d'une évaluation binoculaire simultanée devrait permettre l'amélioration de la précision des mesures et de la pertinence de leur interprétation dès l'instant où le sujet est observé en conditions plus écologiques et ne prête plus attention au dispositif environnant.

Ces innovations en font une technique de choix pour l'évaluation des stratégies de regard chez l'enfant et pourraient être plus largement employées à la compréhension du comportement visuel en pathologie neuropédiatrique.

Après un bref rappel concernant les modalités du regard, nous reviendrons sur les structures cérébrales qui les commandent. Nous rappellerons ensuite l'état actuel des connaissances concernant le développement des stratégies de regard chez l'enfant et les méthodes d'exploration adaptées à cette population.

La suite de ce travail sera consacrée à la présentation d'une étude personnelle portant sur l'évaluation de la faisabilité et de la pertinence de l'utilisation du photo-oculographe binoculaire pour l'exploration des stratégies visuelles de l'enfant normal.

Après discussion des résultats obtenus, nous proposerons des perspectives d'application de la technique à la pathologie.

PREMIERE PARTIE :
le regard et son exploration

I. Bases anatomiques du regard normal

1. Introduction

"Nous ne voyons que ce que nous comprenons"

Ce constat de N. Lygeros illustre le fait que les yeux et le regard ne sont que des éléments d'une chaîne permettant de voir : l'utilisation des informations qu'ils véhiculent met en jeu différentes régions cérébrales, qui vont orienter le recueil et "traiter" les données saisies par l'appareil oculaire.

L'exploration d'une scène visuelle par le regard est structurée par l'élaboration de stratégies cognitives complexes, conscientes ou inconscientes et constitue en quelque sorte l'interface entre la réception visuelle et la perception cognitive visuelle.

Le déplacement des yeux sur le champ de vision est le résultat de l'interaction de plusieurs types de mouvements permettant au regard de balayer l'image. Ils sont le fruit de contractions coordonnées des muscles oculomoteurs, programmées en amont lors de l'élaboration d'un "projet de regard", sous la dépendance de différentes structures cérébrales.

Ces mouvements se répartissent schématiquement en trois groupes dont la finalité diffère :

- les saccades, qui permettent l'exploration des stimuli visuels apparaissant en périphérie rétinienne
- les fixations, qui permettent d'analyser finement l'image ainsi amenée sur la fovéa
- la poursuite visuelle qui permet le centrage sur la fovéa de l'image d'un objet en mouvement.

2. La recherche visuelle

a) Les saccades

Les saccades sont des mouvements rapides des yeux dont le but est d'amener la fovéa de l'oeil sur le stimulus visuel lors de l'exploration d'une scène visuelle fixe.

Ce sont des mouvements discontinus mais coordonnés destinés à permettre la vision binoculaire.

L'amplitude d'une saccade est déterminée par les distances entre les éléments significatifs à explorer. Il existe une relation linéaire entre le pic de vitesse d'une saccade et son amplitude, jusqu'à un maximum de 60 degrés d'angle au delà duquel la vitesse ne peut plus augmenter [1].

Les changements de direction des saccades s'effectuent aux points de fixation.

Les saccades peuvent être :

- des mouvements purement réflexes en réponse à différents stimuli sensoriels (stimulus visuel dans le champ rétinien périphérique, auditif, ou somesthésique)
- des mouvements automatiques, survenant même en l'absence de stimulus
- des mouvements volontaires, réalisés dans un but déterminé

Durant la saccade, il existe une altération visuelle que l'on appelle *inhibition saccadique* durant laquelle seuls le contraste et la luminosité de la scène peuvent être perçus. Ce phénomène évite que la scène regardée ne soit, pour l'observateur, en perpétuel mouvement.

La séquence des saccades peut varier en fonction du stimulus et de ses caractéristiques visuelles (forme, couleur, localisation), de l'objectif poursuivi par l'observateur et de son état de fatigue.

Les anti-saccades sont des mouvements volontaires des yeux dirigés sur demande à l'opposé d'un stimulus visuel. Le patient doit localiser la cible sans générer de saccade dans sa direction et à l'inverse, porter son regard en un point diamétralement opposé. Pour qu'un sujet puisse réaliser des anti-saccades, il doit être capable d'inhiber ses saccades réflexes et de mobiliser son attention. Ainsi les troubles attentionnels se caractérisent, entre autres, par une impossibilité de réaliser des anti-saccades.

b) Les fixations

Ce sont les périodes "d'arrêt" entre les phases de saccades des yeux. Elles permettent de maintenir de façon stable le stimulus visuel sur la fovéa afin d'en extraire le plus d'informations précises possible.

Durant une fixation, l'oeil n'est pas strictement immobile, il est soumis à des tremblements d'amplitude variable, à des microsaccades et des dérives. Pour parler de fixation, l'oeil ne doit pas s'écarter de plus de $0,5^\circ$ d'angle du point qu'il fixe.

Les "tremblements", encore appelés nystagmus, consistent en des micro-déplacements réflexes de l'oeil dont l'amplitude est d'environ une minute d'arc et la fréquence de 50 à 100 fois par seconde. Le nystagmus a pour fonction de déplacer légèrement l'image focale à chaque mouvement et d'activer ainsi un certain nombre de nouveaux récepteurs sur la rétine.

Les microsaccades sont des mouvements fins de l'oeil, imperceptibles (sans l'utilisation de dispositifs spécifiques), qui accompagnent toute période de fixation oculaire. Leur amplitude moyenne est de 5 minutes d'arc. Elles surviennent entre une fois toutes les 5 secondes et 30 fois par seconde et permettent de maintenir une excitabilité rétinienne. L'immobilité oculaire entraînerait, sans leur existence, une extinction visuelle pure et simple.

La dérive est le glissement progressif et involontaire de l'oeil sur le champ visuel. Elle peut atteindre plus ou moins cinq minutes d'arc et se reproduire jusqu'à cinq fois par seconde.

La durée moyenne d'une fixation est de 200 à 250 ms mais peut varier d'un individu à un autre et en fonction des caractéristiques et de la durée de la scène visuelle à regarder. Le temps de fixation représente 80 à 90 % du temps d'exploration d'une image.

c) Les mouvements de poursuite oculaire

Ce sont des mouvements oculaires continus et réguliers permettant au sujet de suivre une cible mouvante. Le déplacement des yeux permet de maintenir l'image de la cible visuelle sur la fovéa.

Le déclenchement de la poursuite oculaire est volontaire et requiert un stimulus en mouvement. La latence de ce système est de 100 à 150 ms et sa vitesse, bien qu'elle

puisse atteindre 100° par seconde, n'est linéaire que jusqu'à 40° par seconde. Le mouvement de l'œil s'adapte à la vitesse de la cible après avoir effectué une saccade lui permettant d'amener la cible sur la fovéa.

d) Les effecteurs : muscles oculomoteurs

Six muscles oculomoteurs assurent les mouvements de chaque globe oculaire :

➤ *quatre muscles droits :*

- droit médial
- droit latéral
- droit supérieur
- droit inférieur

➤ *deux muscles obliques :*

- oblique inférieur
- oblique supérieur

Ils sont sous la dépendance de **trois nerfs oculomoteurs** :

- le III, nerf oculomoteur commun (pour le droit médial, l'oblique inférieur, le droit supérieur, le droit inférieur, ainsi que pour le muscle releveur de la paupière supérieure, le sphincter pupillaire).
- le IV, nerf pathétique (pour l'oblique supérieur).
- le VI, nerf moteur oculaire externe (pour le droit latéral)

Les *noyaux* des nerfs oculomoteurs sont situés dans le tronc cérébral.

Ils donnent naissance aux **racines** des nerfs oculomoteurs qui cheminent jusqu'à la sortie du tronc cérébral. Aux racines font suite les **troncs** des nerfs oculomoteurs, de la sortie du tronc cérébral jusqu'aux globes oculaires.

La vision binoculaire est assurée grâce à la synergie d'action entre muscles oculomoteurs : chaque muscle possède ainsi un antagoniste homolatéral et un agoniste controlatéral ; ainsi, par exemple, le droit latéral droit a comme antagoniste le droit

médial droit et comme agoniste le droit médial gauche.

Cette synergie est réglée par les lois de Hering et de Sherrington :

- la *loi de Hering* est propre à l'oculomotricité : lors de mouvements binoculaires, l'influx nerveux est envoyé en quantité égale aux muscles agonistes des deux yeux, mécanisme assurant le parallélisme oculaire dans les différentes directions du regard.
- selon la *loi de Sherrington*, quand les muscles agonistes se contractent, les muscles antagonistes se relâchent.

3. Structures cérébrales responsables de l'organisation fonctionnelle du regard

La connaissance des structures à l'origine du contrôle des saccades et des mouvements de poursuite oculaire a considérablement progressé ces dernières années, notamment grâce à l'étude de modèles animaux (le macaque rhésus) et aux techniques nouvelles d'imagerie fonctionnelle cérébrale. Cela a permis également de mieux comprendre les processus cognitifs sous-jacents à la mise en place des stratégies de regard comme l'attention et la mémorisation.

Nous proposons dans ce chapitre de présenter les différentes structures cérébrales impliquées dans la génération et le contrôle des mouvements oculaires élémentaires et le lien qu'elles entretiennent entre elles.

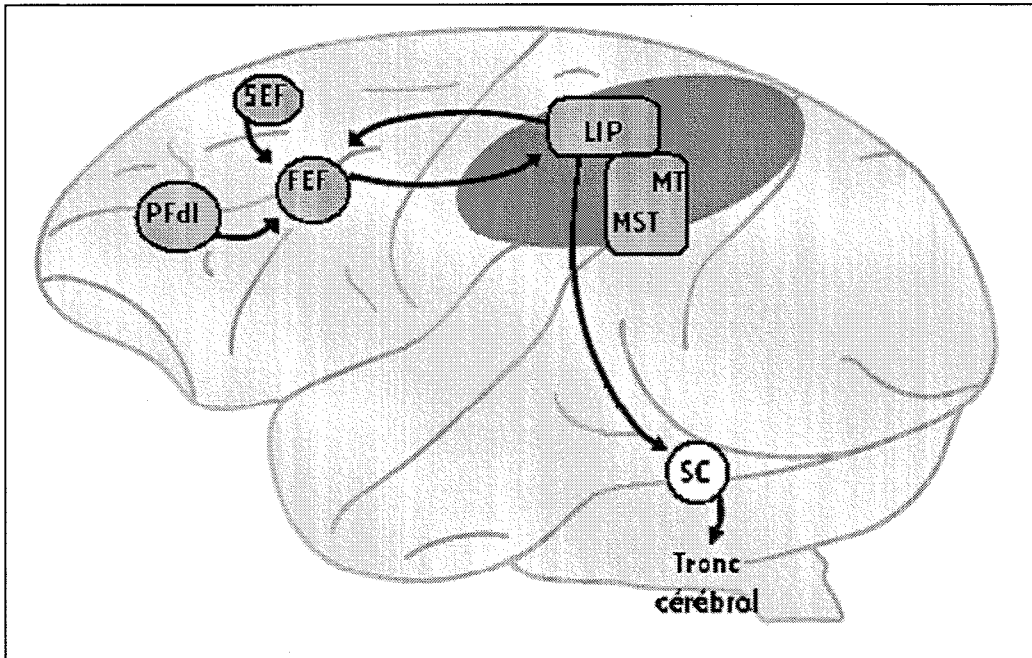


Figure 1 : Réseaux corticaux gauches pour la production de saccades chez le macaque rhésus
d'après Claire Wardak et Jean-René Duhamel, *Médecine/Sciences* 2004 ; 20 : 89-97

En gris foncé : le cortex pariétal postérieur

En gris clair : aires corticales impliquées dans le contrôle des saccades

En blanc : structure sous-corticale

SEF : champ oculaire supplémentaire

FEF : champ oculaire frontal

PFdl : cortex préfrontal dorsolatéral

LIP : aire latérale intrapariétale

MT : aire temporale médiane

MST : aire temporale supérieure mésiale

SC : colliculus supérieur

La production de saccades est le fruit de la mise en jeu de structures diverses assurant des fonctions distinctes.

Les principales structures corticales de *commande des saccades* sont localisées dans le cortex frontal (aires oculomotrice et motrice supplémentaire), le cortex préfrontal dorsolatéral et le cortex pariétal postérieur.

Dans le cortex frontal, le champ oculaire frontal possède trois types de cellules [2] :

- des cellules visuelles sensorielles qui répondent à l'apparition d'un stimulus visuel dans leur champ récepteur
- des cellules de mouvement qui s'activent avant la réalisation d'une saccade
- des cellules visuomotrices qui possèdent les deux types de caractéristiques

Le cortex préfrontal dorsolatéral serait impliqué dans la mémorisation spatiale des cibles vers lesquelles une saccade va être réalisée [3].

Le cortex pariétal postérieur pourrait avoir un rôle dans les mécanismes attentionnels.

Ces structures activent *les centres prémoteurs*, soit directement, soit par le biais des colliculus supérieurs (droit et gauche), structures sous-corticales situées en arrière du mésencéphale.

Les colliculus supérieurs possèdent plusieurs couches de cellules, avec pour chacun une représentation de l'espace contralatéral au niveau de celles-ci.

Leurs couches dorsales contiennent principalement des neurones qui répondent à l'apparition de stimulus visuels dans certaines parties de l'espace. Les couches ventrales contiennent des cellules qui deviennent actives juste avant la réalisation d'une saccade vers une région précise de l'espace [4].

Les colliculus supérieurs seraient plus spécifiquement impliqués dans la génération de saccades réflexes.

Les centres prémoteurs où sont générées les saccades se situent au niveau du tronc cérébral et du mésencéphale [5]. Il s'agit de la formation réticulaire pontique paramédiane pour les mouvements horizontaux et du noyau rostral du faisceau longitudinal médian pour les mouvements verticaux.

Il semble que le signal déclencheur des mouvements de poursuite visuelle prenne également naissance dans le champ oculaire frontal mais dans un autre secteur que celui des saccades [6]. Il possède des liens avec deux régions pariétales postérieures décrites chez le primate : l'aire temporale médiane et l'aire temporale supérieure mésiale [7], qui elles même projettent vers le tronc cérébral. Ces structures correspondent chez l'Homme à la jonction temporo-pariétale postérieure.

Les fixations résultent de l'inhibition des saccades par les structures corticales frontales et les colliculus supérieurs, eux-mêmes régulés par le noyau caudé et la pars reticulata [8].

4. Les autres mouvements oculaires

a) Le réflexe vestibulo-oculaire et le réflexe optocinétique

Ils permettent de fixer le regard sur une cible *lorsque la tête bouge*.

Les mouvements optocinétiques suivent le déplacement du champ visuel à la même vitesse angulaire et dans la même direction. Ils sont impliqués lors de mouvements lents d'une cible visuelle mais aussi lors de mouvements prolongés et lents de la tête.

Les mouvements vestibulo-oculaires compensent les déplacements de la tête par un mouvement de même vitesse et de même amplitude dans la direction opposée. Ils sont impliqués lors de mouvements brefs et rapides de la tête.

b) Les mouvements de vergence

Ce sont des mouvements déconjugués des deux yeux.

Ils ajustent l'orientation des yeux en fonction de la distance en profondeur de l'objet.

Les yeux bougent dans des directions opposées quand leurs axes de visée convergent ou divergent vers des objets placés à différentes distances de l'observateur.

Chez l'adulte, les anomalies de vergence entraînent une diplopie puisque la correspondance de l'image sur la rétine est anormale tandis que chez l'enfant, une des deux images est neutralisée par son cerveau évitant ainsi la diplopie.

Les centres de la vergence sont situés dans le tronc cérébral : certains neurones sont dévolus au contrôle des mouvements de vergence, d'autres au contrôle des mouvements de divergence. Les informations recueillies par la rétine sont envoyées aux corps genouillés latéraux puis au cortex occipital qui assurent leur transmission jusqu'aux centres localisés au tronc afin de déclencher l'ajustement de la vision.

II. L'attention

L'attention est le terme qui englobe les fonctions de contrôle, de sélection et d'intégration de l'information sensorielle.

Elle assure une fonction de sélection des données issues de l'environnement qui seront considérées comme pertinentes.

Les phénomènes attentionnels appartiennent au champ des fonctions exécutives qui regroupent l'ensemble des processus nécessaires au contrôle et à la réalisation de comportements dirigés vers un but. Pour mener une tâche à bien, il faut qu'elle soit planifiée (dans le temps et en fonction des priorités), qu'une stratégie d'action soit retenue et que les interférences pouvant perturber son aboutissement soient inhibées. Parallèlement, l'attention maintient l'activation du plan jusqu'à sa finalisation.

Plusieurs aires corticales sont impliquées dans les processus attentionnels. Il s'agit en particulier des aires visuelles intervenant dans le traitement secondaire des informations visuelles (et non celles intervenant dans les phases précoces du traitement de l'information visuelle) et du cortex pariétal postérieur. Les structures responsables du contrôle de l'attention sont :

- le cortex pariétal
- le cortex frontal
- le cortex cingulaire
- le colliculus supérieur
- le pulvinar

Selon les études récemment menées en imagerie cérébrale fonctionnelle, concernant en particulier la production d'anti-saccades [9-10], il semble que les structures responsables du contrôle attentionnel soient impliquées dans l'inhibition des saccades réflexes. L'existence d'un circuit préfronto-pariéto-colliculaire est l'hypothèse actuellement retenue pour expliquer ce phénomène [11-13].

On distingue schématiquement deux types d'attention visuelle.

L'attention exogène (bottom-up) est mobilisée de façon involontaire et sélectionne des informations visuelles en fonction de leur saillance (caractéristiques repérables d'un objet par rapport à un autre).

L'attention endogène (top-down) est mise en jeu lors d'une tâche à accomplir. Elle se caractérise par un contrôle volontaire des mouvements oculaires dans le but d'aller balayer du regard un élément dit "d'intérêt". Egalement appelée attention sélective, elle

effectue le tri, parmi la masse d'informations sensorielles qui arrivent au cerveau, de celles qui seront le plus utiles à l'accomplissement optimal de la tâche (accroissement des performances et gain de temps).

La mémoire déclarative, c'est-à-dire l'ensemble des informations mémorisées accessibles à la conscience, influe sur les phénomènes d'attention endogène. Les connaissances et l'expérience ou le vécu du sujet guident le processus de vision intentionnelle.

Les structures impliquées dans les phénomènes de mémoire déclarative sont :

- les différents cortex associatifs : préfrontal, temporal, pariétal
- le système de mémoire du lobe temporal médian : hippocampe, cortex entorhinal et périrhinal, cortex parahippocampique
- les noyaux diencephaliques médians, en particulier le noyau thalamique médiodorsal

Ces deux derniers éléments s'intègrent dans le circuit de Papez ou circuit hippocampo-mamillo-thalamo-cingulaire.

Ainsi, l'exploration visuelle est l'aboutissement de mécanismes concomitants qui mettent en jeu des structures cérébrales nombreuses et diverses. Cela rend d'autant plus complexe la compréhension du rôle exact de chacun et donc de l'origine précise des anomalies du regard.

III. Stratégie visuelle chez l'enfant normal et son exploration

Qu'en est-il du développement des stratégies de recherche visuelle chez l'enfant ?

Nous proposons dans ce chapitre d'envisager les différentes étapes de maturation du regard chez l'enfant et les techniques qui permettent de l'explorer.

1. Développement de la stratégie visuelle de l'enfant normal

Le système visuel n'est bien évidemment pas mature à la naissance : il se modifie considérablement au début de la vie. Outre le système visuel externe (œil, rétine), les voies visuelles et les structures corticales et sous-corticales qui s'y rattachent, vont

subir une évolution permettant à l'enfant d'appréhender et d'utiliser de façon de plus en plus précise et pertinente le monde visuel qui l'entoure.

La *vision binoculaire* est fonctionnelle dès la naissance et donc antérieure à l'acquisition d'une acuité visuelle correcte. Elle est le préalable à l'acquisition de la vision scotopique. Ces deux fonctions sont fondamentales pour permettre à l'enfant une perception spatiale précise [14].

L'étendue du *champ visuel* progresse rapidement et en particulier entre l'âge de 1 et 2 mois, période à laquelle il est proche de celui de l'adulte.

Dès la naissance, le système sous-cortical, qui passe par le colliculus supérieur, permet, par le biais des informations visuelles issues de la vision rétinienne périphérique (plus mature que la rétine fovéale à la naissance), la génération de *saccades* qui dirigent le regard vers le stimulus visuel. Initialement le regard ne se constitue donc que de mouvements oculaires réflexes.

Des études récentes ont montré l'existence de rares fixations chez le nouveau-né, en rapport avec une maturation plus tardive du système visuel cortical, vers 2-3 mois. A partir de ce moment, le cortex visuel primaire (V1) reçoit du corps géniculé latéral l'information visuelle émanant de la rétine fovéale permettant aux fixations de se stabiliser.

La vitesse des *saccades* chez l'enfant rejoint celle des adultes aux alentours de 8 mois de vie [15]. En revanche les *antisaccades* sont plus nombreuses : elles ne seront contrôlées volontairement que vers 9 ou 10 ans.

La latence des *saccades* et des mouvements de vergence ne deviennent comparables à celles des adultes que vers l'âge de 12 ans [16].

La *poursuite visuelle* est possible a minima dès les premières semaines de vie, à condition que la vitesse du stimulus soit adaptée. Elle est de courte durée et souvent entrecoupée de séquences de *saccades* qui dominant le comportement visuel à cet âge. Cette particularité évolue rapidement dans les premiers mois, parallèlement à la

maturation des systèmes attentionnels qui permettent progressivement une poursuite visuelle prolongée [17-18].

Le "découplage" tête-yeux, c'est-à-dire l'autonomisation des mouvements de l'une par rapport aux autres surviendrait vers l'âge de 2 mois [19].

Les possibilités de poursuite visuelle de cibles mouvantes s'améliorent encore après 7 ans, pour atteindre un niveau équivalent à celui des adultes vers 12 ans [20-21].

L'attention exogène apparaît rapidement dans le développement de l'enfant et devient mature vers l'âge de 5 ans tandis que *l'attention sélective*, elle, est plus tardive et atteint une efficacité maximale vers l'âge de 8 ans.

2. Techniques d'exploration des stratégies visuelles chez l'enfant

A notre connaissance, seules deux techniques d'exploration visuelle ont pu être valablement utilisées chez l'enfant, l'électro-oculographie (E.O.G.) et la technique du reflet cornéen. Les autres techniques, du fait de contraintes matérielles, de durées d'examen trop longues ou d'un caractère insuffisamment ludique, n'ont pu être employées.

a) Electro-oculographie (EOG) (Fenn & Hursh, 1934)

Cette technique repose sur la mesure de la différence de potentiels électriques induits par les mouvements des yeux, grâce à des électrodes cutanées périorbitaires, de part et d'autre de l'axe cornéo-rétinien. Elle s'avère peu sensible et peu stable dans le temps, offrant notamment une précision trop faible pour l'exploration des mouvements oculaires verticaux et obliques [22-23]. Elle ne permet pas, par exemple, de diagnostiquer une anomalie modérée s'exprimant essentiellement en situation écologique. En revanche elle a été encore récemment utilisée par Garbutt et al. [15] pour l'évaluation de l'amplitude, du pic de vitesse et de la durée des saccades chez l'enfant sain âgé de 2 à 18 mois et par KATO et al. pour l'évaluation de la réponse à un stimulus auditif par l'étude des saccades oculaires du nourrisson.

b) Technique du reflet cornéen :

C'est le recueil du reflet d'une lumière infrarouge envoyée sur la cornée qui permet de repérer spatialement le centre de la pupille, et donc de définir la position de l'oeil. Le capteur du reflet infrarouge est soit un détecteur optique soit une caméra vidéo (systèmes plus récents). A notre connaissance, les études menées chez l'enfant ont utilisé un photo-oculographe monoculaire analysant les mouvements oculaires d'un oeil à la fois. Il s'agit d'études de la poursuite visuelle dans les premières années de vie, de l'exploration du développement de la vision stéréoscopique de l'enfant et de l'évaluation de la stratégie du regard chez l'enfant IMC ancien prématuré.

c) Technique galvanométrique :

Cette technique d'enregistrement des mouvements oculaires est utilisée chez l'adulte, elle repose sur le repérage, dans un champ magnétique, de variations de potentiels électriques induits par le mouvement d'une lentille de contact. Elle est précise temporellement et spatialement, mais très contraignante, puisqu'elle suppose la mise en place d'un matériel sur l'oeil. Cette particularité la rend difficilement utilisable en pratique clinique quotidienne et, a fortiori, chez l'enfant.

IV. Photo-oculographie**1. Principe**

La photo-oculographie permet de déterminer l'orientation du regard grâce à la position du reflet d'une source lumineuse sur la cornée de l'oeil par rapport à la pupille, indépendamment des mouvements de tête.

Le photo-oculographe est muni de caméras avec diodes à infrarouges qui émettent en direction de l'oeil des faisceaux lumineux, invisibles en lumière photopique. Ces faisceaux se réfléchissent sur la cornée puis sont détectés par des capteurs situés dans les caméras, qui convertissent l'information lumineuse, selon des algorithmes définis, en coordonnées géométriques de la position de l'oeil (et donc de sa direction).

2. Historique

a) Principe de Hirschberg

Les travaux de Hirschberg, strabologue de la fin du XIX^e siècle, montrent que l'on peut déterminer l'orientation du regard en repérant la position du reflet d'une source de lumière sur la cornée de l'oeil (reflet cornéen) par rapport à la pupille.

b) La photo-oculographie différentielle

Merchant et Morissette modélisent l'effet des mouvements de translation et de rotation de l'oeil sur la position relative des images, à partir duquel ils définissent le concept de photo-oculographie différentielle [24]. Cette méthode permet des mesures absolues des mouvements de l'œil, indépendamment des mouvements de la tête. Elle évalue les variations différentielles spatiales de deux images optiques : le reflet cornéen, d'une part, l'image virtuelle de la pupille au travers du dioptre cornéen, d'autre part. Comme elles sont dans un plan optique différent, leur rapport reste identique en cas de translation de la tête. En revanche, en cas de rotation de l'oeil, elles se modifient selon une relation qui dépend de la géométrie de la chambre antérieure, stable chez un même individu : rayon de courbure de la cornée et profondeur de la chambre [25].

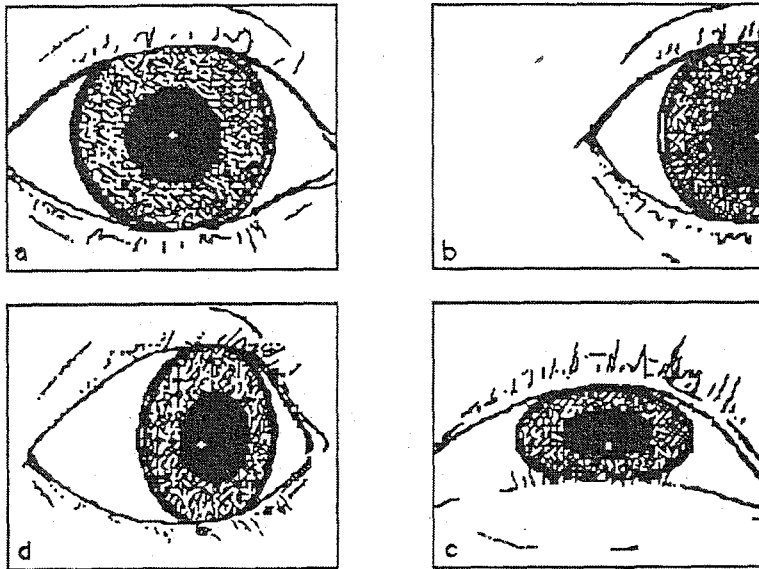


Figure 2 : Effets des mouvements de translation et de rotation de l'œil sur la position relative des images d'après Merchant (1974) [24]

- a- regard droit devant : le reflet cornéen est centré par rapport à la pupille
- b- regard droit devant et rotation de la tête : la position du reflet n'est pas modifiée par rapport à la pupille
- c- regard vers le haut, le reflet se déplace verticalement
- d- regard vers la droite, le reflet se déplace horizontalement

c) Technique par reconnaissance des formes

Cette méthode assure une identification fiable de la pupille et du reflet cornéen même lorsque les conditions de recueil sont difficiles (sortie du champ de la caméra, battements de cil, reflets parasites).

Elle est mise au point par Charlier et al. [25] qui réalise le capteur U279 INSERM.

Le système optique consiste en l'éclairage de l'œil par des faisceaux lumineux issus de deux groupes de sources émettant dans le proche infrarouge. Un groupe central est situé dans l'axe optique de la caméra et un deuxième groupe, constitué de quatre sources périphériques, est positionné autour de l'axe central de la caméra. Ces faisceaux lumineux sont réfléchis par la cornée et génèrent un pattern de géométrie et d'orientation déterminé ; les algorithmes de reconnaissance d'image qui en découlent permettent de distinguer les reflets utiles des reflets parasites. Grâce à un système de recueil des variations d'amplitude des signaux électriques en fonction de la quantité de

lumière arrivant à la surface du capteur, il est possible de déterminer les coordonnées des points utiles pour la détermination du centre de la pupille et de la cornée.

Les hypothèses de validation d'un reflet cornéen reposent sur la position relative des points détectés et sur l'appartenance de cet ensemble de points à une fenêtre centrée sur la pupille [26-27].

d) Systèmes de mesure automatiques

Il s'agit de capteurs permettant le repérage automatique du contour pupillaire et du reflet cornéen afin d'éviter les reflets parasites et le masquage de la pupille.

Les systèmes existants se différencient en particulier par leurs référentiels de mesure.

La majorité de ces appareils utilisent un référentiel externe : l'écran vers lequel s'effectue la tâche visuelle et le capteur des mouvements oculaires sont solidaires et placés devant le patient. Ceci impose que l'oeil soit maintenu dans le champ de la caméra ; la tête doit donc être la moins mobile possible.

D'autres appareils associent l'écran et le capteur sur un casque, imposant alors au sujet une contrainte pondérale non négligeable, surtout lorsqu'il s'agit d'enfants. Enfin le capteur de mouvement peut être désolidarisé en restant sur le casque de tête pendant que l'écran est placé devant le patient. Ce système suppose là encore une immobilité de la tête.

Le traitement des images de l'oeil se fait en temps réel. A chaque mouvement de l'oeil, un logiciel informatique calcule la position du regard sur l'écran en mettant en correspondance la position calculée du centre de la pupille et l'image vidéo enregistrée.

Les logiciels d'analyse de données associés à ces systèmes de recueil tracent les parcours oculaires (visualisation en temps réel du parcours oculaire superposé à l'image), permettent de définir des zones d'intérêt et fournissent des indications sur les caractéristiques du regard (saccades, fixations...).

3. Applications

a) Non médicales

L'analyse du comportement visuel par photo-oculographie est utilisée pour différents types d'études [28] concernant :

- les conducteurs de voiture [29]
- les pilotes (aviation, espace) [30]
- les utilisateurs du web (marketing publicitaire : études sur l'exploration visuelle de pages web et évaluation de l'interface homme/ ordinateur) [31-32].

b) Cliniques :

Les études médicales ayant utilisé la photo-oculographie concernent principalement :

- la pathologie ophtalmologique :
 - strabologie et anomalies de vergence [33]
 - dégénérescence maculaire liée à l'âge [34]

- la pathologie neurologique :
 - exploration des troubles visuospatiaux
 - chez l'adulte cérébrolésé [35-36]
 - chez l'enfant IMC ancien prématuré [37]
 - maladie de Parkinson [38]

- la pathologie psychiatrique :
 - schizophrénie [39]

- le développement de la vision de l'enfant :
 - étude de la poursuite visuelle dans les premiers mois et les premières années de vie [17-40]
 - exploration du développement de la vision stéréoscopique [41]

- l'utilisation du principe de la POG comme outil de commande par le regard :
 - pour le handicap [42-43] (technique de désignation par le regard pour les patients dont la seule autonomie réside dans leurs possibilités motrices oculaires)
 - pour le patient hospitalisé en réanimation [44]
 - pour la microchirurgie ophtalmologique [45]

DEUXIEME PARTIE : étude personnelle

I. Objectif de l'étude et intérêt de la photo-oculographie

L'objectif de notre travail est d'évaluer la pertinence et les possibilités d'utilisation du photo-oculographe binoculaire dans l'étude des stratégies visuelles de l'enfant normal. La technique permet une évaluation simultanée des trajectoires visuelles des deux yeux et limite les contraintes matérielles.

II. Méthodologie et matériel utilisé

1. Population étudiée

Trente enfants âgés de 6 à 12 ans, nés après 36 semaines d'aménorrhée, scolarisés normalement, issus du département de la Meurthe-et-Moselle, ayant une acuité visuelle sans correction supérieure à $7/10^{\text{ème}}$, ne présentant pas d'antécédent neurologique.

2. Lieu d'évaluation

Service de MPR pédiatrique (IRR). Hôpital d'enfants du CHU Nancy.

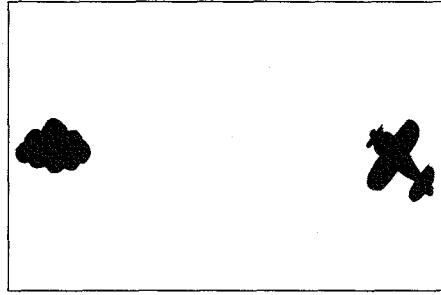
3. Tests visuels

a) Diaporama d'images fixes

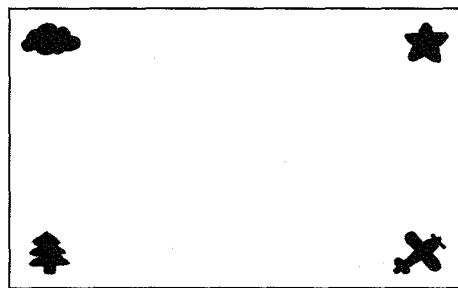
Il comprend :

- sept diapositives représentant des pictogrammes identiques à ceux utilisés dans la thèse de médecine de Laure RISS pour l'étude, en photo-oculographie monoculaire, des stratégies visuelles de l'enfant infirme moteur cérébral ancien prématuré. Les pictogrammes sont dessinés en noir sur fond uni blanc.

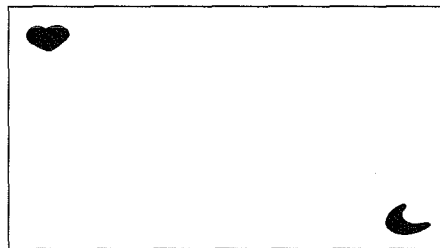
- Diapositive « ligne »



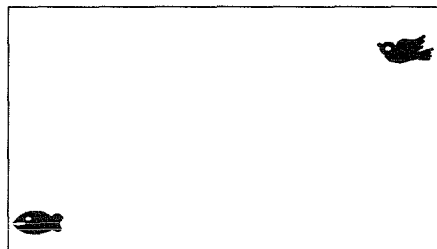
- Diapositive « carré »



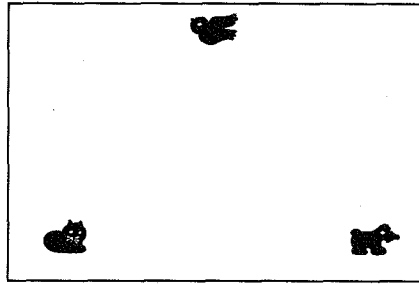
- Diapositive « diagonale 1 »



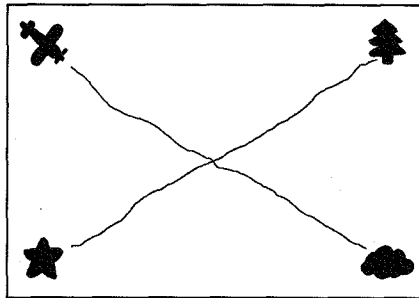
- Diapositive « diagonale 2 »



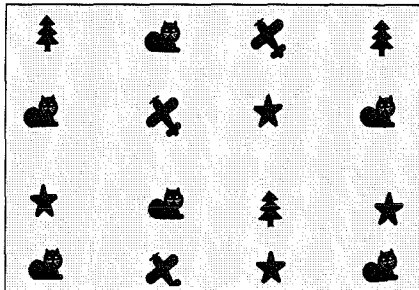
- Diapositive « triangle »



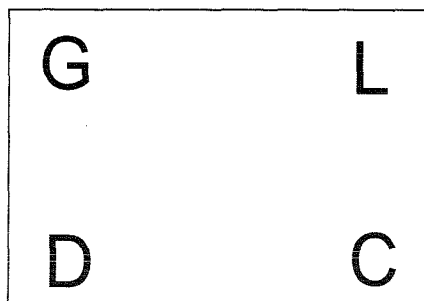
- Diapositive « croisement »



- Diapositive « chats »



- une diapositive « lettres » utilisée par BEIS [36]



- une épreuve de lecture : adaptée à l'âge et s'appuyant sur les textes proposés par la Batterie Rapide d'Evaluation des fonctions cognitives (B.R.E.V.) [46]. Au-delà de la classe de CE2 les enfants ont tous eu à lire le même texte.

b) Diaporama de vidéos

Deux vidéos de 3 secondes chacune ont été tournées pour l'exercice. La première montre une balle allant de la droite à la gauche de l'écran selon une trajectoire horizontale, la deuxième montre la même scène mais cette fois, de la gauche vers la droite.

4. Variables étudiées

a) Concernant la population

- sexe
- âge
- latéralité
- niveau scolaire
- redoublement
- trouble(s) d'apprentissage
- port de lunettes

b) Concernant l'évaluation du regard

- variables qualitatives :
 - amorçage : première cible d'intérêt vers laquelle se dirige le regard
 - trajectoire du regard entre deux cibles : linéaire ou non
 - précision du regard : caractère centré du regard sur la cible
 - exhaustivité du regard : balayage de l'ensemble des cibles par le regard
 - qualité de la perception : réponses correctes aux questions posées

- variables quantitatives :
 - données relatives à l'ensemble de la diapositive :
 - nombre de fixations et de saccades
 - durée totale des fixations et des saccades
 - durée moyenne des fixations et des saccades
 - période durant laquelle les données ont été correctement enregistrées
 - données relatives aux zones d'intérêt prédéfinies sur la diapositive
 - nombre de fixation et de saccades
 - durée totale des fixations et des saccades
 - durée moyenne des fixations et des saccades
 - période durant laquelle les données ont été correctement enregistrées
 - pourcentage de temps de fixation rapporté au temps passé dans les différentes zones d'intérêt.

5. Matériel utilisé et déroulement de l'examen

a) Le photo-oculographe : FaceLAB™¹

▪ *Généralités :*

FaceLAB™¹ est un système d'acquisition vidéo et de suivi des mouvements de tête et du regard [47].

Il permet de mesurer en temps réel :

- la position et l'orientation de la tête en 3D
- la direction du regard
- le comportement des yeux : clignements, fixations, saccades etc.

Le système comprend un écran d'ordinateur permettant de diriger les différentes phases de calibration et de projeter les tests visuels.

L'enregistrement du regard est possible grâce au fonctionnement simultané des deux caméras placées devant l'écran et tournées vers le visage du sujet (fig. 3).

¹ Fabricant : Seeing Machines

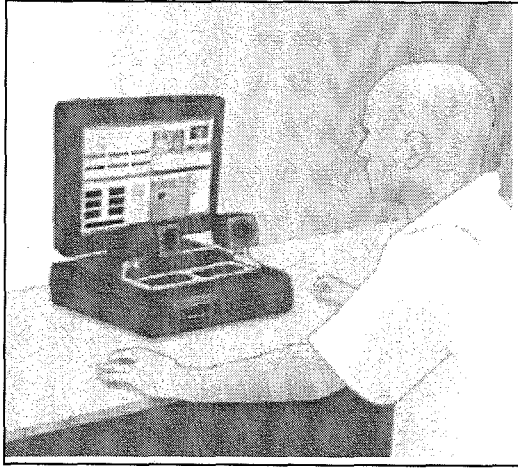


Figure 3 : installation du sujet devant le photo-oculographe FaceLAB™
Schéma figurant sur le mode d'emploi édité par Seeing machines

▪ **Configuration des caméras :**

Les caméras sont d'abord positionnées sur leur support de manière à visualiser le visage du sujet au centre des fenêtres de contrôle pour chaque caméra. Le système permet un réglage de l'écartement des deux caméras, et de leur inclinaison par rapport à l'horizontale (tilt) et la verticale (angle de vergence) (Fig. 4 et 5). Chaque caméra est mobile indépendamment de l'autre.

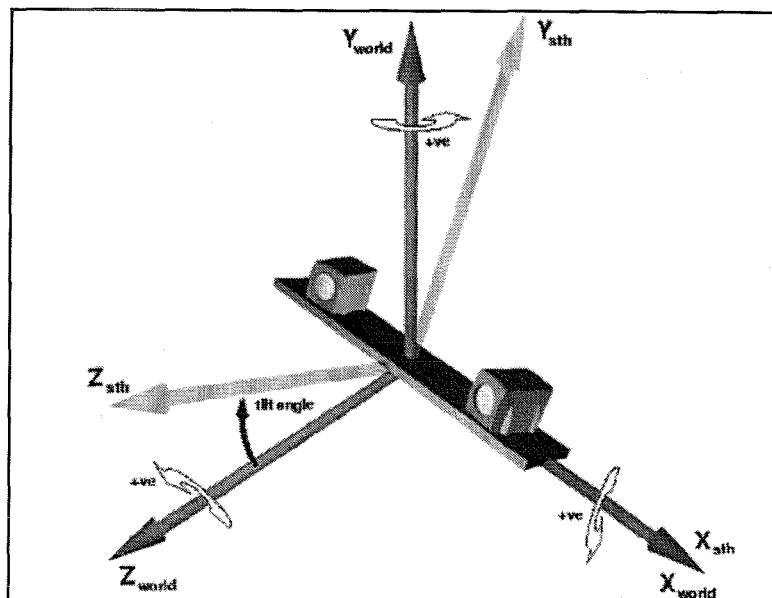


Figure 4 : réglage positionnel des caméras selon trois axes spatiaux : en hauteur (axe Y), en profondeur (axe Z world), en abscisse (axe X). Le point de référence est le milieu des deux caméras sur l'axe horizontal. Le "tilt" est l'angle que fait l'axe Z world avec l'axe Z sth, ligne imaginaire qui part du centre des caméras vers les yeux du sujet.

Schéma figurant sur le mode d'emploi édité par Seeing machines

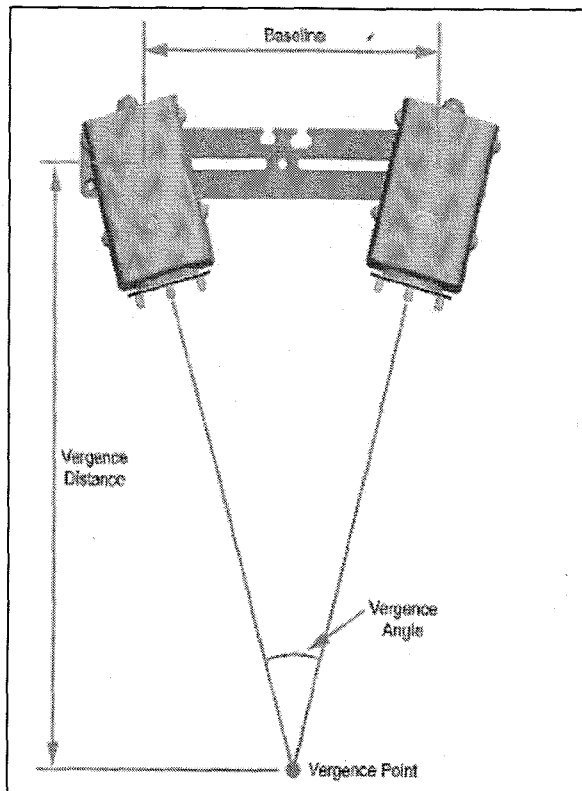


Figure 5 : le point de vergence correspond au point d'intersection des axes des deux caméras.

Schéma figurant sur le mode d'emploi édité par Seeing machines

Pour ce travail nous avons configuré le système en mode "précision" de façon à obtenir une qualité de suivi du regard maximale durant les enregistrements. Ce type de configuration impose l'utilisation de "plots" infrarouges positionnés de part et d'autre de l'écran et l'adaptation de filtres infrarouges sur les caméras.

La phase suivante est la calibration des caméras qui permet au système d'enregistrer :

- la position et l'orientation relative de chaque caméra par rapport à l'autre.
- les propriétés optiques de chaque caméra.

La configuration des caméras est inchangée pour l'ensemble des manipulations.

- ***Calibration des paramètres du visage et du regard :***

La première étape consiste à repérer des points de références sur le visage du sujet (le contour des yeux, les sourcils, le nez, la bouche...). Cette opération se fait automatiquement après "capture" photographique du visage. Chaque point de référence peut être manuellement réajusté.

La seconde étape permet la calibration automatisée du regard en fonction de l'orientation des caméras en demandant au sujet de regarder l'une puis l'autre.

Ces réglages sont réalisés pour chaque enfant.

Le seuil de détection des saccades est fixé à 8° d'angle.

- ***Configuration de l'environnement visuel :***

Elle permet l'enregistrement des coordonnées spatiales 3D de l'écran, des caméras et des plots infrarouges les uns par rapport aux autres.

- ***SID (Screen Intersection Display) :***

Cette dernière étape consiste à vérifier que les coordonnées du regard calibré coïncident bien avec les images projetées à l'écran.

On demande à l'enfant de fixer des cibles dont la position est préalablement définie. L'ensemble des points de fixation doit se trouver sur les pictogrammes projetés pour que la calibration soit valide.

b) Gaze Tracker² :

C'est le logiciel associé au système FaceLAB™. Il remplit trois fonctions :

- création et présentation du stimulus visuel qu'il s'agisse d'images fixes ou de vidéos.
- synchronisation des données enregistrées avec l'image projetée en permettant ainsi leur visualisation directe sur celle-ci.
- analyse statistique des différents paramètres du regard.

² Fabricant : Eye Response Technology

c) **Déroulement de l'examen :**

▪ ***Installation :***

L'écran est posé sur une table fixée au sol. L'enfant s'installe sur une chaise réglable en hauteur permettant de s'adapter à sa taille. Les caméras sont placées sur la table devant l'écran et font face à l'enfant. L'opérateur commande les étapes de calibration grâce à une souris placée sur la table.

L'ensemble des manipulations se déroule dans la pénombre pour éviter un parasitage lumineux.

▪ ***Réglages et calibrations :***

Cette partie n'excède pas 20 minutes (cf. ci-dessus).

▪ ***Projection des diaporamas :***

Chaque diapositive est suivie d'un écran noir projeté durant 10 secondes (3 secondes pour les vidéos) afin de permettre à l'enfant de répondre à la question posée. La durée de projection des images varie selon la complexité de ces dernières :

- 3 secondes pour les diapositives à deux pictogrammes : « Ligne », « Diagonale 1 » et « Diagonale 2 ».
- 5 secondes pour la diapositive à trois pictogrammes : « Triangle ».
- 7 secondes pour les diapositives à quatre pictogrammes : « Carré », « Croisement », « Lettres ».
- 12 secondes pour la diapositive « Chats ».
- 12, 14 et 40 secondes selon l'épreuve de lecture.

Durant les diapositives intermédiaires, les enfants répondent à la question "Dis nous ce que tu vois", à l'exception de la diapositive "croisement" durant laquelle ils ont pour consigne de "suivre avec leurs yeux le chemin allant de l'étoile au sapin" et de la diapositive "chats" après laquelle ils doivent dire "combien de chats ils ont vu".

Le texte situé en fin de diaporama est lu à haute voix.

▪ *Traitement des données :*

Dès la fin de l'épreuve, les enfants découvrent leur trajet oculaire qui s'affiche sur le diaporama. Les données peuvent être converties immédiatement en variables exploitables statistiquement.

▪ *Analyse statistique :*

Calcul des moyennes et des écarts types des variables testées pour le groupe d'enfants étudié.

III. Résultats

1. Population étudiée

TABLEAU I : CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION ETUDIEE (N = 30)

	Sexe		Latéralité			Trouble(s) des apprentissages	Redoublement	Lunettes
	Garçons	Fille	Droitier	Gaucher	Manquant			
n	19	11	25	4	1	4	2	8
%	63%	27%	83,3%	13,3%	3,3%	13%	7%	27%

Nous avons inclus dans notre étude 19 garçons et 11 filles Le sexe ratio (1,72) est plus élevé que la valeur habituellement admise, comprise entre 1,03 et 1,07. La proportion de gauchers dans notre étude correspond à celle de la population générale comprise entre 10 et 15 %.

Quatre enfants présentent un trouble des apprentissages (dyslexie), deux ont redoublé une classe.

TABLEAU II : REPARTITION DES SUJETS EN FONCTION DE LEUR NIVEAU SCOLAIRE

Classe	Maternelle	CP	CE1	CE2	CM1	CM2	6ème	5ème	Total
Nombre d'enfants	2	1	4	4	5	6	7	1	30

Les enfants ayant participé à l'étude sont scolarisés dans des classes allant de la dernière année de maternelle à la classe de cinquième de l'enseignement secondaire. En majorité, les classes concernées sont celles allant du CE1 à la classe de sixième. L'âge moyen est de 9,9 ans.

2. Variables qualitatives

a) Amorçage du regard

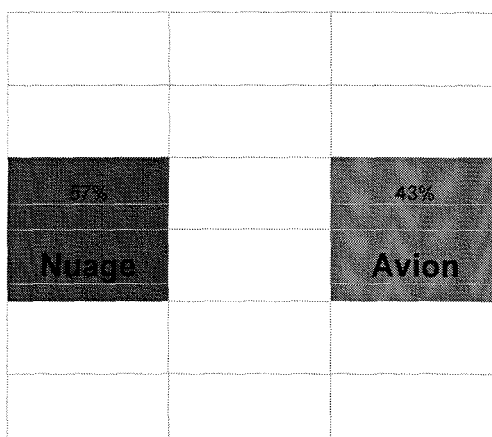


Figure 6 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "ligne"

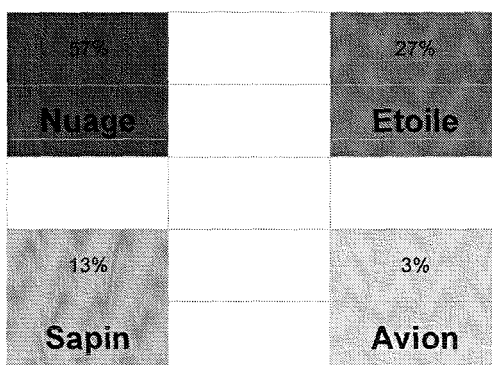


Figure 7 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "carré"

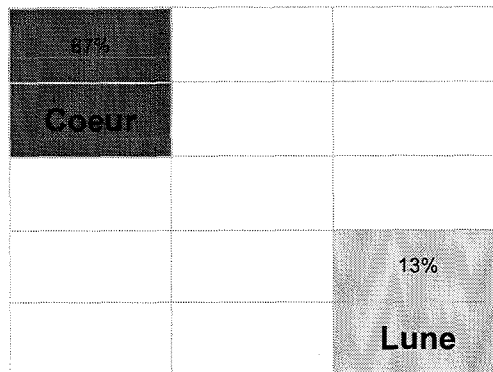


Figure 8 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "diagonale 1"

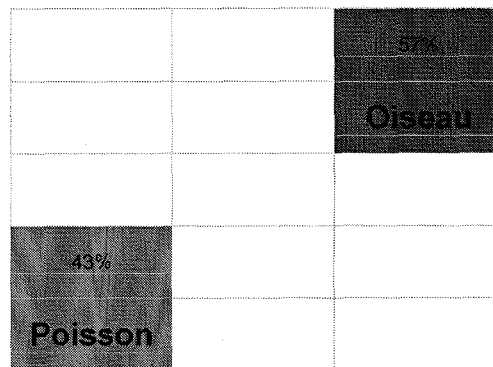


Figure 9 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "diagonale 2"

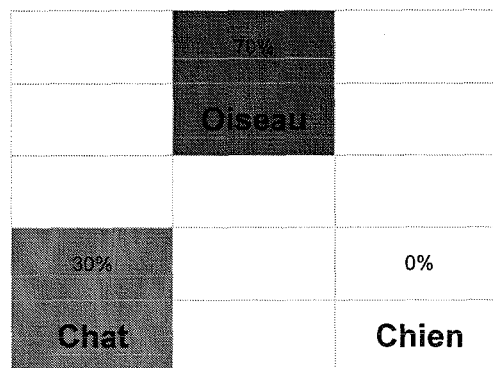


Figure 10 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "triangle"

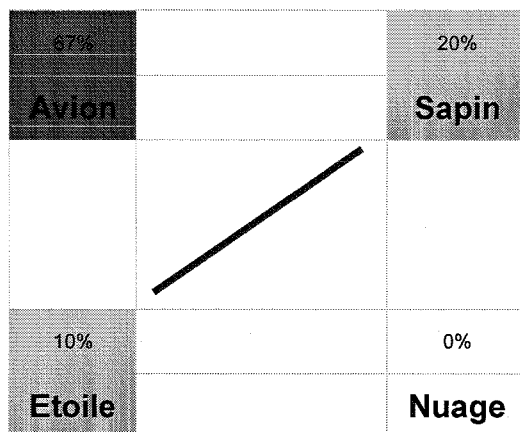


Figure 11 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "croisement"

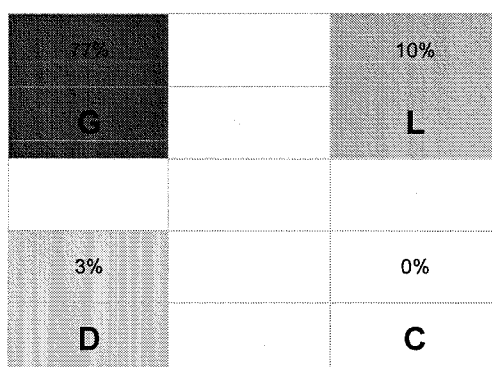


Figure 12 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "Lettres"

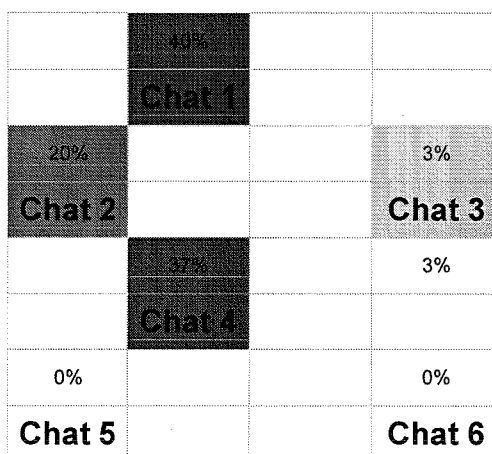


Figure 13 : zones d'amorçage préférentielles du regard pour la diapositive "chats"

L'amorçage du regard se fait préférentiellement en haut à gauche de l'image ou, quand il n'y a pas de pictogramme en haut à gauche, en haut et au centre ou à droite de l'image.

Concernant la diapositive "chats", la zone centrale correspondant à la zone "Chat 4" est également fréquemment la première zone d'intérêt balayée par le regard.

b) Stratégie du regard :

Pour les diapositives "ligne", "diagonale 1" et "diagonale 2", les stratégies du regard sont orientées "droite / gauche" ou "gauche / droite" et "haut / bas" ou "bas / haut" selon l'endroit où s'est effectué l'amorçage, dans la mesure où les images ne comprennent que deux pictogrammes. Les pourcentages de chacune des stratégies sus-citées suivent donc ceux de l'amorçage pour ces mêmes diapositives.

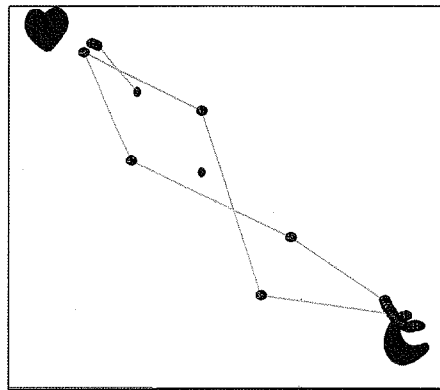


Figure 14 : ex. de déplacement (haut/bas) pour le test " Diagonale 1"

Il est possible de regrouper les sujets en fonction de la stratégie qu'ils adoptent pour les diapositives "carré", "chats", et "lettres".

Se distinguent ainsi, pour la diapositive "carré" :

- un déplacement horaire pour 9 sujets
- un déplacement antihoraire pour 8 sujets
- un déplacement en Z pour 8 sujets
- un déplacement en Z inversé pour 1 sujet
- un déplacement en croix pour 1 sujet

Un sujet présente un déplacement anarchique, qu'il n'est pas possible de classer.

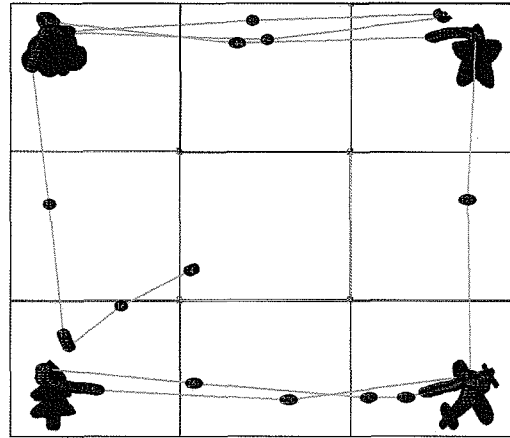


Figure 15 : ex. de déplacement (horaire) pour le test "carré"

L'analyse de la diapositive "chats" montre des modes d'exploration de l'image différents de la précédente, dont :

- un balayage rotatoire pour 16 sujets
- un balayage linéaire horizontal avec retour à la ligne pour 3 sujets
- un balayage linéaire vertical avec retour en haut de chaque colonne pour 1 sujet
- un trajet direct entre les pictogrammes cibles pour 10 sujets mais sans ordre défini

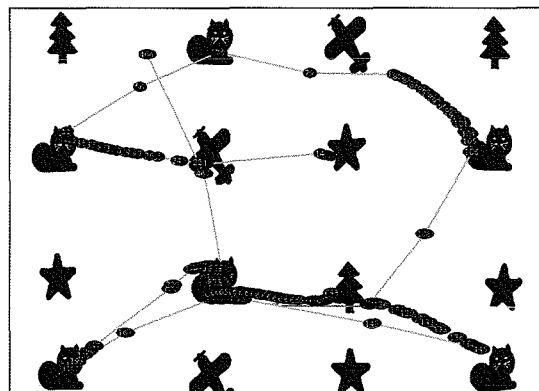


Figure 16 : ex. de déplacement (rotatoire) pour le test "chats"

Les tracés correspondants à la diapositive "lettres" sont globalement superposables à ceux de la diapositive "carré", et se divisent en :

- un déplacement horaire pour 10 sujets
- un déplacement antihoraire pour 5 sujets
- un déplacement en Z pour 10 sujets
- un déplacement en Z retourné pour 2 sujets (dont un avait la même stratégie pour la diapositive "carré")
- un déplacement en croix pour 1 sujet

Les pertes de données sont trop importantes pour deux sujets parmi les 30 pour qu'il soit possible d'identifier une stratégie spécifique.

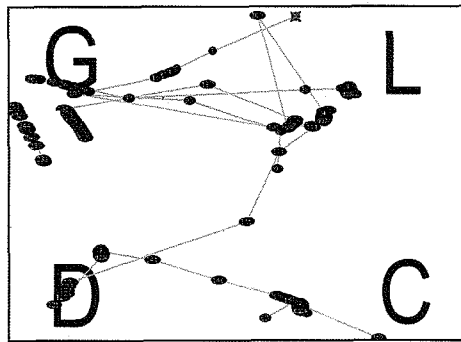


Figure 17 : ex. de déplacement (en Z) pour le test "Lettres"

La diapositive "croisement" totalise un nombre de tracés trop différents les uns des autres (variabilité interindividuelle élevée) : il n'apparaît pas de modèle significatif.

c) Ordre du texte :

L'ensemble des enfants a respecté l'ordre du texte.

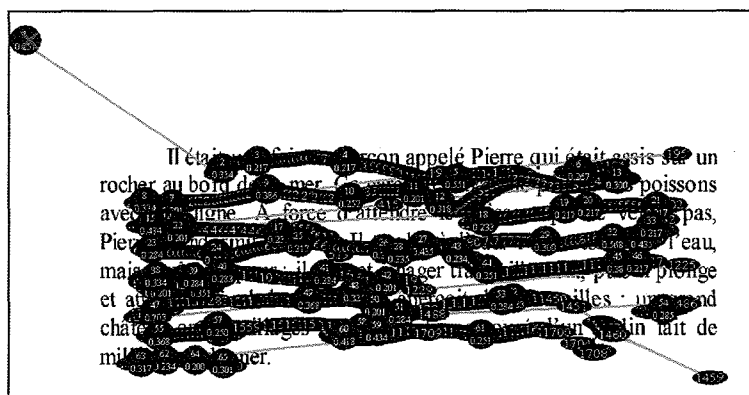


Figure 18 : visualisation du trajet binoculaire lors d'une épreuve de lecture (texte de niveau CE2 issu de la B.R.E.V.). Les fixations correspondent aux ronds noirs les plus larges et sont numérotés de 1 à 65. Les saccades sont représentées par les ronds noirs plus petits et vont de 1 à 1459.

Sur l'exemple que nous avons choisi, les fixations ne sont pas numérotées dans l'ordre exact du texte en raison de l'existence de saccades de régression correspondant à des retours en arrière de la droite vers la gauche.

d) Suivi du chemin

80 % (n = 24) des sujets suivent le chemin désigné de façon linéaire en réalisant des saccades rapprochées, d'amplitude faible, et plus nombreuses visuellement que lors d'une tâche de reconnaissance d'objets. Les six autres enfants ne respectent pas la consigne donnée.

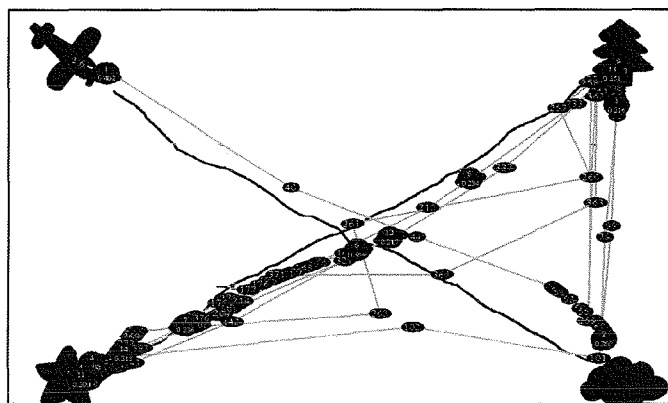


Figure 19 : visualisation du tracé de suivi oculaire du chemin allant de l'étoile au sapin obtenu après consigne orale spécifique.

e) Poursuite visuelle

Les poursuites de balle de gauche à droite et de droite à gauche sont linéaires pour l'ensemble des enfants. Le regard est, de façon générale, positionné dans la partie centrale de la vidéo, avant l'apparition de la balle, puis l'enfant effectue une saccade vers l'endroit où elle apparaît et "cale" son regard sur sa trajectoire. Cette dernière étape se caractérise par une succession de "points de regard" très proches et très réguliers, matérialisés par des ronds noirs de même diamètre que les saccades, mais de nature différente, puisqu'il s'agit d'une épreuve de poursuite visuelle.

f) Trajectoire du regard entre deux cibles, précision du regard, exhaustivité du regard, qualité de la perception

TABLEAU III : TRAJECTOIRE DU REGARD ENTRE DEUX CIBLES, PRÉCISION DU REGARD, EXHAUSTIVITÉ DU REGARD, QUALITÉ DE LA PERCEPTION EN FONCTION DE LA DIAPOSITIVE EXPLORÉE POUR LES 30 SUJETS DE L'ÉTUDE

Image	Trajet direct entre 2 cibles		Précision du regard, fixation centrée sur image		Exploration de toutes les cibles		Qualité de la réponse	
	N total = 30		N total = 30		N total = 30		N total = 30	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ligne	29	97%	26	87%	29	97%	28	93%
Carré	27	90%	24	80%	30	100%	27	90%
Diagonale 1	8	27%	24	80%	27	90%	30	100%
Diagonale 2	6	20%	25	83%	25	83%	30	100%
Triangle	7	23%	26	87%	27	90%	30	100%
Croisement	21	70%	20	67%	23	77%	30	100%
Chats	12	40%	15	50%	13	43%	30	100%
Lettres	20	67%	22	73%	25	83%	28	93%

La trajectoire du regard n'est pas strictement rectiligne lorsque les images à observer sont positionnées sur une diagonale comme c'est le cas dans les images "diagonale 1", diagonale 2" et "triangle", alors qu'elle l'est dans plus de 50 % des cas quand les éléments d'intérêt sont disposés verticalement ou horizontalement les uns par rapport aux autres.

Pour la diapositive "chats", dans laquelle les pictogrammes à compter sont dispersés parmi d'autres éléments, il est intéressant de constater que :

- la recherche oculaire n'est rectiligne que pour 40 % des sujets
- toutes les cibles ne sont pas explorées, ou pas précisément observées par le regard, alors que, dans 100 % des cas, le nombre exact de chats a été donné, et donc perçu.

3. Variables quantitatives

a) Données globales

▪ *Qualité de l'enregistrement :*

La perte d'information varie, en moyenne, selon les diapositives, de 20 à 33 % du temps de projection. Elle est maximale pour les tests "diagonale 1", diagonale 2" et "lettres", et équivalente pour les deux vidéos. En voici le détail :

- Test "ligne" : 21 %
- Test "carré" : 24 %
- Test "diagonale 1" : 36 %
- Test "diagonale 2" : 34 %
- Test "triangle" : 20 %
- Test "croisement" : 30 %
- Test "chats" : 25 %
- Test "Lettres" : 33 %
- Test "vidéo 1" et "vidéo 2" : 29 %

▪ *Nombre de fixations et de saccades :*

Il semble que, plus l'image est complexe et exposée longuement, plus les fixations et les saccades sont nombreuses. Le nombre moyen de fixations est compris entre 3 et 4 pour les diapositives à 2 pictogrammes, il est de 8 pour la diapositive à 3 pictogrammes, et se situe entre 9 et 10 pour les diapositives à 4 pictogrammes. Il s'élève respectivement à 15 et 44 fixations en moyenne pour les diapositives "chats" et "texte". Néanmoins, la longueur de l'épreuve de lecture varie selon le niveau scolaire des enfants ; cette variable a donc peu d'intérêt pour ce test.

On remarque qu'il existe le même nombre de saccades et de fixations lors des deux tests de poursuite oculaire (3 fixations et 138/141 saccades), ainsi que pour les deux tests "diagonale" (3/4 fixations et 117/120 saccades).

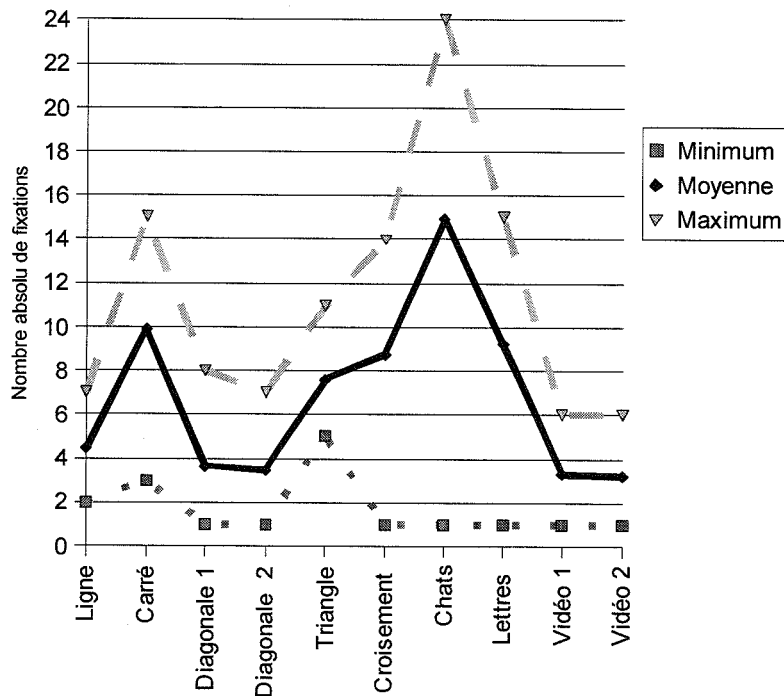


Figure 20 : nombre moyen, minimum et maximum de fixations selon le test visuel projeté

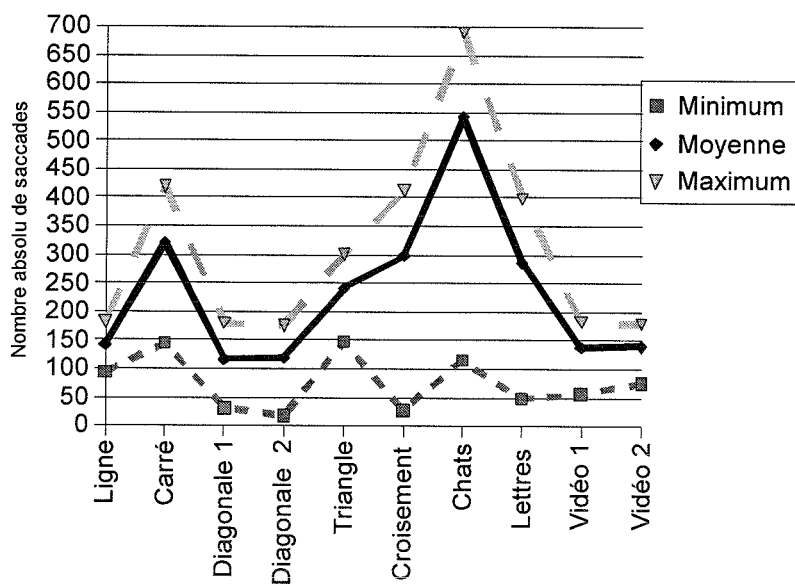


Figure 21 : nombre moyen, minimum et maximum de saccades selon le test visuel projeté

▪ **Durée totale des fixations et des saccades :**

Lorsque l'image projetée est fixe, la durée totale de fixation est toujours supérieure à celle des saccades.

En revanche, lors des épreuves de poursuite oculaire (vidéo 1 et 2), on constate une durée cumulée de fixation inférieure à celle des saccades. Cette inversion du rapport fixation – saccades, lors des deux exercices, similaires, ne semble cependant pas avoir d'impact sur la durée moyenne de fixation.

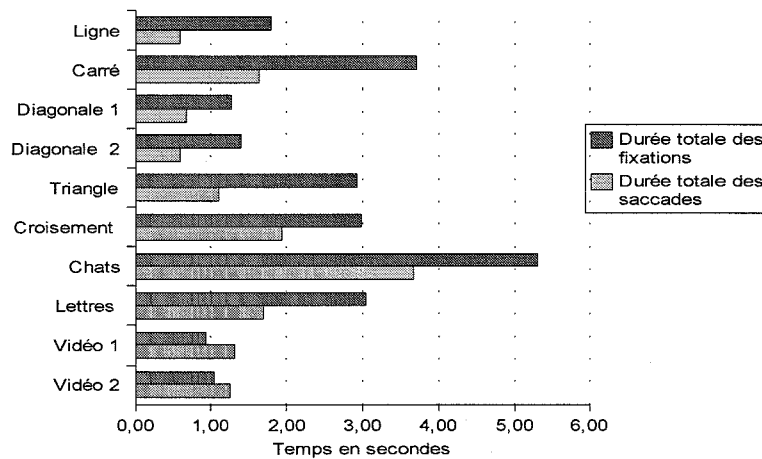


Figure 22 : durée totale des saccades et des fixations en fonction des tests visuels projetés

▪ **Durée moyenne des fixations et des saccades :**

TABLEAU IV : DUREE MOYENNE DES SACCADDES ET DES FIXATIONS SELON LE TEST VISUEL PROJETE

	Ligne	Carré	Diag 1	Diag 2	Triangle	Croisement	Chats	Lettres	Vidéo 1	Vidéo 2
Durée moy des fixations en sec	0,42	0,38	0,35	0,42	0,39	0,34	0,36	0,33	0,29	0,34
Durée moy. des saccades en sec	0,004	0,005	0,005	0,005	0,008	0,006	0,007	0,006	0,009	0,009

Les durées moyennes de fixation, lors des différents exercices, sont comprises entre 0,29 et 0,42 secondes (écarts-type entre 0,05 et 0,14) et ce quelle que soit la durée de projection choisie pour l'image (de 3 à 38 secondes) (fig.).

Pour la lecture de texte, elle est de 0,4 secondes (écart-type de 0,05).

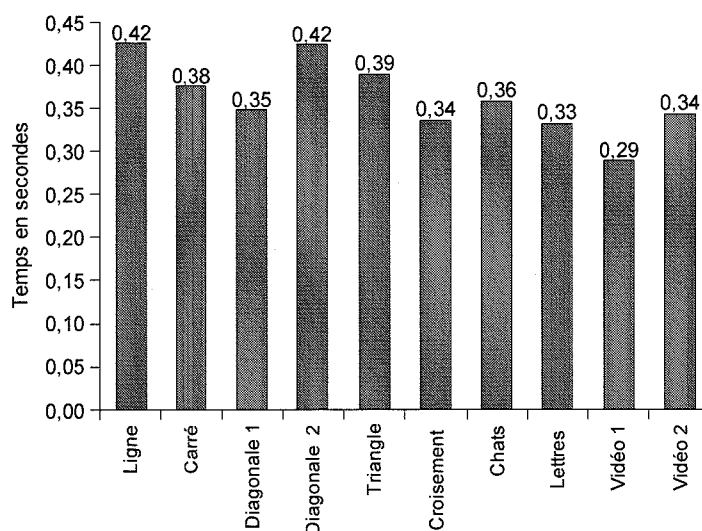


Figure 23 : durée moyenne des fixations en fonction du test visuel projeté

La durée moyenne des saccades correspondant aux images "ligne", "diagonale 1", "diagonale 2", "triangle", "lettres" est comprise entre 4,06 et 5,85 millisecondes (ms). Elle est plus longue pour les tests "croisement" (6,48 ms) et "chats" (6,77 ms), pour lesquels les consignes orales préalables imposaient une recherche visuelle plus précise. Elle est plus nettement supérieure à l'occasion des deux épreuves de poursuite visuelle, "vidéo 1" et "vidéo 2", pour lesquelles elle s'établit, respectivement, à 9,49 et 8,94 millisecondes.

Pour l'image "texte", elle est de 5 ms.

Les valeurs sont similaires pour les deux tests où les pictogrammes sont disposés en diagonale, d'une part, et pour les deux tests de poursuite visuelle, d'autre part.

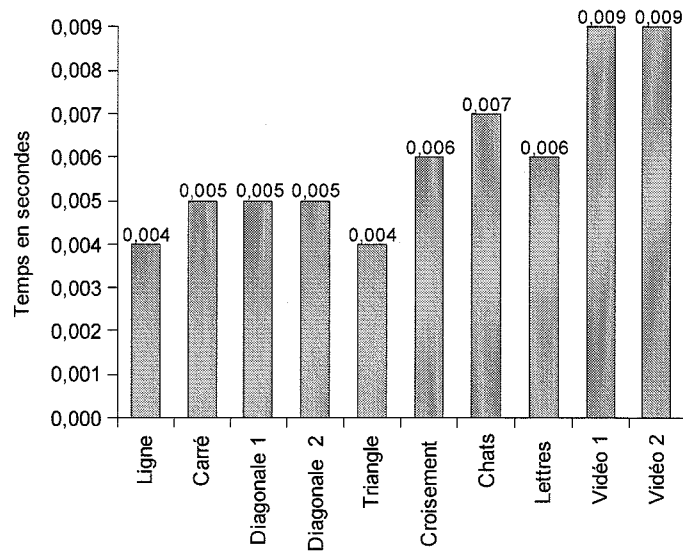


Figure 24 : durée moyenne des saccades en fonction du test visuel projeté

b) Variables calculées en fonction des zones d'intérêt

- *Nombre de saccades et fixations par zone (tableau V) :*

A l'exception des tests "chats" et "croisement", ces deux variables sont respectivement homogènes pour chacune des zones d'intérêt.

TABLEAU V : REPARTITION DU NOMBRE DE SACCADÉS ET DE FIXATIONS SELON LES ZONES D'INTERET POUR CHAQUE TEST VISUEL

		Nombre de fixations	Nombre de saccades
Ligne	Nuage	2	66
	Avion	2	55
Carré	Nuage	2	64
	Etoile	3	84
	Avion	3	74
	Sapin	2	57
Diag 1	Coeur	1	40
	Lune	2	59
Diag 2	Oiseau	1	43
	Poisson	2	54
Triangle	Oiseau	2	61
	Chat	2	72
	Chien	3	76
Croisement	Avion	1	30
	Sapin	2	73
	Nuage	1	27
	Etoile	2	62
Chats	1	1	44
	2	1	26
	3	1	39
	4	4	143
	5	1	22
	6	1	32
Lettres	G	2	61
	L	2	43
	C	2	50
	D	3	73

▪ *Durée totale des fixations par zone (tableau VI):*

TABLEAU VI : DUREE TOTALE DES FIXATIONS SELON LES ZONES D'INTERET POUR CHAQUE TEST VISUEL

Durée totale des fixations		
Ligne	Nuage	0,91
	Avion	0,71
Carré	Nuage	0,69
	Etoile	1,03
	Avion	0,75
	Sapin	1,02
Diag 1	Coeur	0,44
	Lune	0,74
Diag 2	Oiseau	0,55
	Poisson	0,72
Triangle	Oiseau	0,76
	Chat	0,92
	Chien	1,05
Croisement	Avion	0,25
	Sapin	0,90
	Nuage	0,24
	Etoile	0,66
Chats	1	0,45
	2	0,19
	3	0,46
	4	1,83
	5	0,20
	6	0,39
Lettres	G	0,56
	L	0,45
	C	1,01
	D	0,61

▪ *Durée moyenne des fixations par zone (tableau VII) :*

TABLEAU VII : DUREE MOYENNE DES FIXATIONS SELON LES ZONES D'INTERET POUR CHAQUE TEST VISUEL

Durée moyenne des fixations		
Ligne	Nuage	0,41
	Avion	0,37
Carré	Nuage	0,32
	Etoile	0,35
	Avion	0,38
	Sapin	0,38
Diag 1	Coeur	0,27
	Lune	0,36
Diag 2	Oiseau	0,32
	Poisson	0,40
Triangle	Oiseau	0,37
	Chat	0,39
	Chien	0,36
Croisement	Avion	0,17
	Sapin	0,28
	Nuage	0,15
	Etoile	0,25
Chats	1	0,20
	2	0,09
	3	0,25
	4	0,44
	5	0,17
	6	0,22
Lettres	G	0,24
	L	0,23
	C	0,34
	D	0,29

Nous constatons, là encore, une homogénéité entre les zones d'intérêt pour la variable "durée moyenne de fixation" en ce qui concerne les tests "ligne", "triangle" et "carré".

L'analyse des diapositives "diagonale 1" et "diagonale 2" montre une durée moyenne de fixation inférieure pour l'objet situé en haut, qu'il soit à droite ou à gauche. Le constat est le même pour le test "lettres", à l'occasion duquel les lettres G et L, situées en haut de l'image (respectivement à gauche et à droite), sont l'objet d'une durée moyenne de fixation moindre.

Pour le test "croisement", cette variable diffère selon les zones d'intérêt. Elle est en effet plus élevée pour les zones "sapin" et "étoile", lorsque la consigne préalable demande à l'enfant de suivre le chemin allant de l'une à l'autre. Nous remarquons également, pour ce test, que la fourchette dans laquelle elle se situe, y compris pour les deux dessins les plus fixés (0,25 et 0,28 s), est inférieure à celle du test "carré" (0,32 – 0,38 s), qui présentait le même nombre et la même disposition d'objets, et dont seule la consigne préalable variait.

- ***Durée de fixation rapportée au temps passé dans la zone :***

TABLEAU VIII : POURCENTAGE DE FIXATIONS DANS CHACUNE DES ZONES D'INTERET POUR CHAQUE TEST

Pourcentage de fixations par zone		
Ligne	Nuage	79
	Avion	71
Carré	Nuage	62
	Etoile	74
	Avion	75
	Sapin	80
Diag 1	Coeur	58
	Lune	79
Diag 2	Oiseau	64
	Poisson	72
Triangle	Oiseau	75
	Chat	70
	Chien	76
Croisement	Avion	38
	Sapin	64
	Nuage	34
	Etoile	56
Chats	1	47
	2	21
	3	61
	4	65
	5	46
	6	62
Lettres	G	44
	L	56
	C	77
	D	72

Si l'on rapporte la durée moyenne de fixation au temps passé dans chaque zone, les constats sont les mêmes que pour les durées moyennes de fixation.

Seule exception, le test "chats", pour lequel nous observons une absence d'homogénéité entre les durées moyennes de fixation des différentes zones d'intérêt [allant de 0,09 (zone chat 2) à 0,44 secondes (zone chat 4)]. Cette remarque est à pondérer lorsque le taux de fixation est rapporté au temps passé dans chaque zone. Les disparités sont alors nettement moins marquées. Les zones "chat 3", "chat 4" et "chat 6" bénéficient en effet d'un pourcentage de temps fixé par rapport au temps passé dans la zone compris entre 61 et 65 %, "chat 1" et "chat 5" de 46 et 47 %, "chat 2" de 21 %.

▪ *Temps passé en zones intermédiaires*

Globalement, le temps passé en dehors des zones d'intérêt est compris entre 15 et 21 %. Sa part relative est supérieure pour les diapositives "croisement" (39 %) et "chats" (41 %).

TROISIEME PARTIE :
discussion

I. Généralités

Ces dernières années, plusieurs études, menées dans différents domaines, ont montré l'intérêt de l'utilisation des techniques de photo-oculographie dans l'exploration des stratégies de regard, en particulier chez l'adulte.

Dans le domaine médical, ces techniques ont contribué à l'étude de troubles ophtalmologiques purs tels que les anomalies de vergence, les amblyopies et les dégénérescences maculaires liées à l'âge [32]. Elles ont également été utilisées dans d'autres contextes, comme l'analyse de l'oculo-motricité chez le parkinsonien ou de la stratégie de regard dans la schizophrénie [37].

Dans le champ de la rééducation fonctionnelle, elles ont montré leur intérêt dans l'évaluation des troubles visuospatiaux de l'adulte cérébro-lésé [33] [34].

Chez l'enfant, elles restent, à notre connaissance relativement peu exploitées en dehors de l'étude de la poursuite visuelle dans les premiers mois de vie et de l'évaluation de la stratégie de regard chez l'enfant IMC ancien prématuré [35].

Ces travaux ont été réalisés à l'aide de photo-oculographes monoculaires, qui permettent de recueillir les informations d'un seul œil à la fois. Néanmoins, ces appareils ne sont pas utilisés en pratique quotidienne, bien qu'il soit établi que les mesures effectuées sont fiables et reproductibles.

La nouvelle génération de photo-oculographes, dits binoculaires, permet l'enregistrement simultané des mouvements des deux yeux, ce qui offre l'avantage d'une évaluation plus écologique de l'exploration visuelle.

Leur utilisation ne nécessite pas de contention particulière de la tête, contrairement aux précédents matériels, ce qui en fait une technique de choix pour l'évaluation des troubles du regard chez l'enfant.

II. Faisabilité de la technique chez l'enfant

Le principal objectif de l'étude est de déterminer la faisabilité et la pertinence de l'utilisation de la photo-oculographie binoculaire chez l'enfant. Le choix d'un groupe d'âge étendu et malgré tout ciblé (de six à douze ans) nous permet, dans un premier temps, de répondre à cette question pour des enfants à divers degrés de maturité et ayant acquis la lecture.

Parmi les neuf patients exclus de l'étude, un seul l'a été en raison d'un recueil de données insuffisant. Il n'a pas été possible de mener à bien la phase initiale de calibration pour six enfants. L'un d'entre eux présente des troubles de vergence manifestes.

Le motif de l'échec n'est pas clairement établi pour les cinq autres, en l'absence de bilan ophtalmologique complet préalable à l'étude. Deux enfants souffrent d'un strabisme non signalé au moment de la sélection, ils ont néanmoins passé la phase de calibration. Leurs enregistrements ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette étude.

Aucune des évaluations n'a nécessité de soumettre les enfants à une contention particulière de la tête, et, pour l'ensemble des patients inclus, la durée totale de l'examen n'a pas excédé trente minutes.

L'utilisation de caméras infra-rouges ne permet pas le recueil de données de bonne qualité lorsque l'enfant réalise l'exercice avec des verres correcteurs, en raison de la formation de reflets artéfactuels gênant le repérage précis de l'œil.

En revanche, les tests ont pu être réalisés chez des enfants dont l'acuité visuelle n'atteint pas toujours $10/10^e$. Il est difficile de définir dans quelle mesure un déficit d'acuité visuelle (n'excédant pas $7/10^e$) influe sur la stratégie visuelle, même en l'absence de strabisme ou d'anomalie de vergence, dans la mesure où, dans tous les cas, les données projetées sont perçues de façon satisfaisante.

III. Choix des tests

La sélection des diapositives s'inspire des études précédemment menées concernant la stratégie visuelle de l'enfant IMC ancien prématuré d'une part, et les troubles visuo-spatiaux chez l'adulte cérébro-lésé d'autre part. Ce choix permet d'avoir une base de comparaison pour évaluer la pertinence des données enregistrées.

Les textes retenus font partie de la batterie BREV (Batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives) qui permet l'examen neuropsychologique rapide entre quatre et neuf ans. Dans notre étude, les enfants âgés de plus de 9 ans ont eu la même épreuve de lecture que les enfants de cet âge. Il est donc difficile d'interpréter rigoureusement les résultats obtenus, seul un enregistrement du parcours oculaire lors d'une épreuve spécifique commune aux enfants du même âge pourrait être soumis à discussion.

IV. Analyse qualitative des résultats

1. Amorçage et stratégie du regard

L'amorçage préférentiel en haut à gauche de l'image correspond à ce qui a été observé lors des précédentes études menées à ce sujet. Laure RISS, par exemple, obtenait ce résultat chez 59 % des enfants sains testés (13 enfants sur 22) contre 57 à 87% dans notre étude selon le test visuel projeté.

Les patterns de trajectoires oculaires pour la diapositive à quatre pictogrammes sont également similaires. En revanche l'analyse spécifique des résultats obtenus dans le test "lettres" montre une fréquence de la stratégie en "Z" inférieure à celle qu'observait Laure RISS et DATIE et al. [48]. Ces auteurs ont cependant étudié des populations plus âgées que la notre (10 enfants sur 20 âgés de 12 ans et plus pour le premier, 30 adultes pour le second).

2. Ordre du texte

L'existence de régressions saccadiques durant la lecture de texte est clairement visualisée par le dispositif. Celles-ci sont matérialisées par des retours en arrière sur la ligne courante dans des zones déjà balayées par le regard. Il est admis que ces régressions sont rares dans un texte facile, et nombreuses chez les enfants en lecture-oralisation (5 en moyenne par ligne en première année de lecture) ainsi que chez les adultes quand la «lisibilité» est faible.

La prédominance du phénomène chez les plus jeunes se vérifie ici, néanmoins la configuration de l'étude ne permet pas d'en affirmer la significativité.

3. Poursuite visuelle

Malgré l'obligation pour les enfants testés de ne pas bouger la tête pendant l'épreuve en raison de l'utilisation du photo-oculographe en mode précision, les suivis oculaires enregistrés sont linéaires et correctement visualisés, quel que soit l'âge. Cependant trois enregistrements pour la vidéo 1, et 6 pour la vidéo 2, ont échoué. L'hypothèse la plus probable est la survenue de mouvements de tête, fréquemment associés aux situations de poursuite visuelle, et que les enfants jeunes parviennent difficilement à contrôler. L'enregistrement simultané des mouvements des yeux et de la tête pourrait apporter des réponses quant au comportement précis adopté en situation écologique d'observation d'une cible mouvante.

4. Trajectoire du regard entre deux cibles et suivi du chemin

L'observation de deux cibles disposées sur une diagonale peut parfois induire une trajectoire non rectiligne du regard, sans qu'il puisse être distingué de différence selon l'âge. Les points de regard non tangents à la diagonale formés par les deux pictogrammes ne sont cependant pas des fixations et sont peu nombreux, témoignant plutôt d'une imperfection de recueil sur ce type de trajet (occlusion palpébrale), et non d'une anomalie de stratégie.

La tâche de suivi d'un chemin matérialisé par une ligne préalablement désignée est correctement effectuée lorsque la demande est comprise et facilement reconnue sur le tracé (augmentation de la densité des saccades le long de l'axe et fixations prédominant aux deux extrémités du chemin).

5. Précision du regard

Elle est obtenue pour l'ensemble des tests dont la consigne est de nommer les objets vus.

En revanche, lorsque l'enfant, en plus d'identifier les pictogrammes projetés, doit effectuer une tâche visuelle supplémentaire (diapositives "chats" et "croisement"), seules les cibles d'intérêt sont regardées alors que toutes sont nécessairement perçues.

Ces constats sont cohérents avec ce que YARBUS [49] affirmait déjà, à savoir que la précision du regard dépend de la tâche visuelle demandée.

Dans le test "chats", sans que l'échantillon soit suffisamment grand pour que les données soient significatives, il semble que les enfants plus jeunes aient regardé plus précisément ces derniers. On sait que les compétences attentionnelles se développent avec l'âge et, en particulier, que le processus de myélinisation des zones frontales – qui survient à l'adolescence – joue un rôle dans l'établissement de celles-ci et contribue ainsi à l'organisation des données mémorisées. Il est donc possible que les enfants plus jeunes, en l'absence des mêmes possibilités de hiérarchisation de l'information mémorisée, soient contraints à fixer plus précisément la cible pour pouvoir réaliser la tâche demandée.

6. Exhaustivité du regard

Les tests "croisement" et "chats" se distinguent par l'absence d'exploration de l'ensemble des cibles d'intérêt, sans que cela influe sur la qualité de la perception, comme l'attestent les scores obtenus à l'item "qualité de réponse" (100 % de bonnes réponses dans les deux cas).

Les cibles sont donc correctement perçues sans être nécessairement toutes regardées. Cette donnée est connue et fait référence à l'existence d'une vision périphérique permettant une

perception des éléments situés à proximité de la cible sans nécessairement les regarder. L'attention qui leur est portée se manifeste alors sans déplacement du regard.

Récemment GOTTLIEB et al. [50] ont montré l'implication de l'aire latérale intrapariétale dans les capacités attentionnelles du singe. D'autres études menées en imagerie fonctionnelle cérébrale, chez l'homme cette fois, mettent en évidence le lien entre la réalisation des saccades et l'activation d'un réseau de régions pariéto-frontales proches de celles identifiées chez le primate [12]. De la même façon, le syndrome de négligence, considéré comme une anomalie de la représentation de l'espace et de l'attention, est consécutif à des lésions du lobe pariétal droit .

V. Analyse quantitative des résultats

1. Qualité de l'enregistrement

Pour nos sujets, le temps perdu est en moyenne, selon les diapositives, compris entre 20 et 40 % de l'enregistrement. La perte de données est maximale pour les diapositives à deux pictogrammes dont les cibles sont diagonalement opposées (tests "diagonale 1" et "diagonale 2").

Ces pertes de données sont imputables à différents éléments, comme la survenue de mouvements de tête (notamment lors de l'épreuve de lecture), de clignements d'yeux (dont la fréquence peut être influencée par le niveau de vigilance du sujet, la complexité de l'image et sa durée de projection) et par le port du regard en dehors de l'écran.

2. Données globales concernant les fixations et les saccades

a) Durée moyenne des fixations et des saccades

La durée moyenne de fixation, en ce qui concerne les images fixes, est comprise dans un intervalle relativement serré (330 à 420 millisecondes), malgré la variabilité de temps d'exposition entre les différentes diapositives, ce qui correspond aux données de la littérature (100 à 500 ms). Ceci est d'autant plus marqué pour l'épreuve de lecture, avec une variabilité interindividuelle de seulement cinquante millisecondes alors que le texte proposé diffère selon l'âge.

La configuration de notre étude ne permet pas de déterminer une relation entre la durée moyenne de fixation et la complexité de l'image. Cependant certains auteurs ont montré que, plus la scène visuelle est riche, plus cette variable augmente.

Ainsi il est possible que l'application d'une durée fixe d'exposition de l'image influe artificiellement sur la durée moyenne de fixation et en majore la valeur par rapport à l'exploration de la même image en situation écologique. En effet, dans la mesure où l'image ne disparaît pas de son champ de vision, l'enfant, même s'il a recueilli l'information demandée, continue à regarder le stimulus et donc à engendrer l'enregistrement de données ne correspondant plus à son comportement visuel habituel.

La durée moyenne des saccades est notablement plus élevée dans les tests imposant une recherche visuelle précise (tests "croisement" et "chats"), alors que la durée moyenne de fixation ne varie pas considérablement. Ces observations illustrent bien le rôle des saccades et leur variabilité selon le stimulus visuel et l'exercice proposé. Les saccades jouent un rôle adaptatif majeur dans les stratégies de regard comme le remarquent ANDREWS et al. [51] qui ont montré que les caractéristiques des saccades varient selon que le sujet regarde une scène visuelle (exploration passive) ou effectue une tâche visuelle active (recherche visuelle ou lecture d'un texte).

Il existe d'autres facteurs pouvant influencer sur ces variables. Parmi ceux-ci, citons : la fluctuation de vigilance au cours de l'exercice et l'adaptation progressive à l'exercice.

La durée moyenne des saccades apparaît majorée lors des épreuves de poursuite visuelle. Cela dit, il ne s'agit pas, au sens strict, de mouvements de saccades, même s'ils sont enregistrés comme tels, mais de poursuite visuelle. Il conviendra donc ultérieurement de régler le seuil de détection des saccades selon l'exercice proposé (par exemple, l'augmenter lorsque l'on travaille en poursuite visuelle).

b) Nombre et durées totales des fixations et des saccades

Ces paramètres semblent largement influencés par la complexité de l'image, la durée d'exposition de la diapositive (qui croît dans le même sens) et le but à atteindre.

Selon HENDERSON (1992) néanmoins, c'est la première fixation sur chacun des objets de l'image qui est la plus significative du point de vue de la compréhension de la stratégie visuelle utilisée. Les fixations additionnelles semblent être liées à d'autres fonctionnalités (traitement et mémorisation de l'information par exemple).

Nous remarquons par ailleurs que les diapositives structurellement similaires deux par deux (diagonales et vidéos) totalisent, respectivement, un nombre moyen de fixations et de saccades identique. Ceci suppose que la technique est reproductible même si d'autres expérimentations seraient nécessaires pour l'affirmer.

3. Analyse des variables quantitatives selon les zones d'intérêt prédéfinies

Que l'on s'intéresse aux variables "durée moyenne de fixation" ou "nombre de fixation et de saccades", les diapositives pour lesquelles la consigne est de mémoriser les objets afin de les nommer une fois que la diapositive disparaît ne présentent pas les mêmes caractéristiques que lorsque le sujet poursuit un autre objectif.

Lorsque le but est de citer les objets vus, les durées moyennes de fixation sont plus importantes pour les pictogrammes situés en bas (tests "carré", "diagonale 1" "diagonale 2", "lettres") ou quasiment identiques (test "triangle").

Les derniers pictogrammes vus sont, en général, ceux situés en bas de l'image, comme l'atteste l'analyse des stratégies de regard. Ils sont donc, en théorie, plus difficiles à mémoriser puisque l'enfant a déjà des informations à encoder. Il est licite de poser ici la question du rôle de la fixation prolongée dans le phénomène de mémorisation à court terme en particulier. C'est un des éléments que souligne LOFTUS [52] dans ses travaux sur la perception visuelle, en affirmant que la durée de fixation dépend du temps nécessaire à l'encodage des caractéristiques de l'image.

Cette remarque est pondérée par les résultats obtenus au test "triangle", à l'occasion duquel les durées moyennes de fixation sont équivalentes pour les trois zones d'intérêt. Dans ce cas de figure, on peut se demander dans quelle mesure les caractéristiques des images projetées peuvent favoriser le processus de mémorisation. Selon P. ALMASY, photjournaliste et théoricien, le parcours du regard sur une image est hiérarchisé selon le type de sujet à observer. Les regardeurs seraient liés par un lien affectif aux représentations : le monde animal serait perçu dans un premier temps puis le monde végétal et enfin le monde minéral. Dans notre expérience, les trois pictogrammes appartiennent à une même "famille" ; ils

représentent trois animaux familiers, qui ont des liens évidents entre eux (chat – chien – oiseau). Leur rapport sémantique et le caractère affectif qu'ils revêtent habituellement chez l'enfant pourraient faciliter leur mémorisation, sans recourir à des temps de fixation visuelle majorés.

Lorsque la consigne implique la recherche d'objets, les durées moyennes de fixation sont hétérogènes selon les zones (tests "croisement" et "chats").

Lors du test "croisement", les durées moyennes de fixation sont plus importantes pour les deux objets situés aux extrémités du chemin que l'enfant doit suivre des yeux alors qu'elles sont moindres que celles des pictogrammes situés aux mêmes endroits dans le test "carré" (qui présentait pourtant la même disposition).

Ceci illustre, là encore, le fait que la stratégie de regard s'adapte à la consigne donnée et à l'objectif poursuivi. Les deux objets ne se trouvant pas sur le trajet à suivre sont peu fixés, puisque non identifiés comme nécessaires à la tâche à réaliser. Ceux situés aux extrémités du chemin visé ont déjà été nommés dans les consignes préalables aux tests et ne doivent donc pas être mémorisés mais simplement repérés, pour pouvoir porter le regard le long du "bon" chemin.

Le test "chats" revêt d'autres caractéristiques. Si nous nous intéressons à la moyenne, à la durée totale et au nombre de fixations, nous constatons qu'ils sont nettement plus importants dans la zone "chat 4" (entre deux et cinq fois plus élevés que dans les autres zones) et relativement hétérogènes d'une zone à l'autre.

Le rapport de la durée de fixation sur le temps passé dans la zone offre en revanche une vision plus objective de la stratégie adoptée : les zones "chat 3", "chat 4" et "chat 6" sont proportionnellement les plus fixées, puis les zones "chat 1" et "chat 5" et enfin la zone "chat 2". Les zones "chat 1, 2, et 5" sont en effet les plus regroupées et les plus proches de la position centrale. L'hypothèse la plus probable est la perception de ces zones, par certains enfants, en vision para-fovéale (champ de 10 degrés d'angle autour de la vision centrale). En revanche les zones "chat 3 et 6" sont moins accessibles à la vision para-fovéale car plus excentrées et éparses.

Ainsi, les résultats que nous obtenons avec le photo-oculographe binoculaire sont cohérents avec les données antérieures et mettent en lumière plusieurs points :

- *l'objectif poursuivi durant l'exploration d'un test visuel influence de façon certaine la stratégie de regard, qu'il s'agisse du parcours oculaire et de ses caractéristiques (trajectoire directe ou non, précision) ou des mouvements élémentaires du regard (durée moyenne, nombre des saccades et des fixations) et de leur répartition dans le temps et l'espace.*
- *l'analyse des données sous-tend l'existence de processus cognitifs sous-jacents aux stratégies du regard et impliquant, entre autres, la mémoire et l'attention.*
- *les possibilités sont étendues et nécessitent des adaptations en fonction de l'hypothèse à vérifier ; les épreuves de lecture et de poursuite visuelle pourraient être plus pertinemment étudiées en tenant compte, par exemple, des mouvements de tête concomitants.*
- *enfin les hypothèses doivent être vérifiées pour chaque groupe d'âge afin de déterminer des normes à comparer aux sujets présentant une pathologie du regard.*

QUATRIEME PARTIE : pertinence et applications

I. Faisabilité et pertinence

Les résultats obtenus confirment la possibilité d'utilisation de la photo-oculographie binoculaire chez l'enfant d'âge scolaire. Nos évaluations montrent que la technique est rapide, ludique et que la perte d'information reste relativement faible. L'absence de nécessité de dispositif d'immobilisation de la tête facilite son utilisation chez l'enfant.

Il semble qu'elle offre de plus une analyse pertinente des stratégies de regard, comme l'atteste la cohérence de nos observations avec les travaux menés antérieurement sur ce sujet.

Le système permet l'étude de la stratégie du regard tant sur le plan qualitatif que quantitatif. Il est possible de l'utiliser pour analyser le comportement visuel à l'occasion de tâches de natures diverses :

- poursuite visuelle
- exploration d'images fixes
- lecture

Le dispositif s'applique aussi bien à la projection de visuels sur un écran proche du sujet (pour étudier finement la structure du regard) que sur un support éloigné (davantage destiné à évaluer les caractéristiques de mouvements coordonnés de la tête et des yeux). Dans ce dernier cas, il est possible, par exemple, d'observer le comportement de l'enfant dans un contexte de lecture au tableau.

II. Perspectives

Cet outil peut constituer un appui supplémentaire et objectif pour l'évaluation et la prise en charge des anomalies de comportement visuel des enfants infirmes moteurs cérébraux.

En effet, on connaît différents mécanismes cognitifs à l'origine de ces troubles, sans qu'il soit toujours possible, avec les outils diagnostics actuels, d'en définir la part relative et l'impact sur le plan fonctionnel.

Au sein de cette population, les enfants présentant une hémiplégie infantile cérébrale constituent un groupe peu évalué, sur les plans cognitif et visuel en particulier. On connaît

mal, par exemple, les raisons pour lesquelles il existe, chez ces enfants, de "bons" et de "mauvais" lecteurs.

Si la latéralisation de leur déficit, qui s'exprime sur le plan moteur, a une traduction dans leur stratégie de regard, la photo-oculographie pourrait alors devenir un outil diagnostique capable de mettre en lumière les éventuelles différences de compétence visuelle entre les enfants sains et les enfants hémiplésiques d'une part, et les enfants hémiplésiques bons et mauvais lecteurs d'autre part.

Elle pourrait également constituer un moyen d'évaluation des techniques de rééducation fonctionnelle mises en place, en confrontant les bilans réalisés en photo-oculographie avant et après traitement, tout en fournissant à l'enfant les moyens de prendre conscience de ses progrès.

Nous proposons d'autres champs d'application que celui de l'étude des troubles des apprentissages chez l'enfant cérébro-lésé : la technique pourrait permettre de détecter un certain nombre de comportements visuels adaptatifs ou innés consécutifs à d'autres pathologies.

Certaines pathologies neurologiques, dont le diagnostic précis reste en suspens, peuvent s'accompagner de troubles attentionnels pour lesquels les thérapeutiques actuellement utilisées ne fonctionnent pas. L'emploi du méthylphénidate par exemple, ne résout pas tous les troubles de cette nature, en particulier lorsque ces derniers ne s'inscrivent pas réellement dans un trouble de l'attention avec hyperactivité (THADA). Dès lors, si l'indication d'un tel traitement est réfutée, il serait légitime de se poser la question de l'origine de la lésion responsable du trouble et de l'implication éventuelle de structures proches de celles qui régulent la production de saccades.

Nous avons constaté que la photo-oculographie binoculaire fonctionne également pour les enfants porteurs de strabisme, indépendamment de tout autre pathologie neurologique, même si la perte de données est plus importante. L'examen simultané des deux yeux pourrait permettre d'évaluer plus objectivement les stratégies qu'ils mettent en place afin de compenser leur handicap.

Comme dans l'exemple proposé plus haut, l'évaluation précise du trouble avant et après traitement, qu'il soit chirurgical ou orthoptique, offrirait l'avantage de proposer une rééducation adaptée aux anomalies spécifiques de l'enfant préalablement identifiées.

III. Limites

Le port de lunettes limite l'utilisation de ce type d'appareil lorsqu'il fonctionne en mode précision (caméras infra-rouges), en raison de la formation de reflets parasites gênant le suivi des mouvements oculaires.

Un enfant n'a pas pu passer la phase de calibration probablement en raison de troubles de vergence. D'autres études devront cependant être menées pour infirmer ou confirmer l'hypothèse selon laquelle de telles anomalies entravent le déroulement de l'examen et pour déterminer dans quelle mesure elles influent sur les caractéristiques des stratégies oculaires chez l'enfant [53].

IV. Protocole d'étude proposé

A l'issue de ce travail, nous proposons donc la réalisation, par photo-oculographie binoculaire, d'une étude comparative des caractéristiques de la stratégie visuelle :

- de deux populations d'enfants hémiplésiques âgés de 5 à 7 ans, dont l'une est constituée de sujets ayant assimilé les pré-requis de la lecture, l'autre regroupant des sujets présentant des difficultés d'apprentissage.
- de chacune de ces deux populations avec un groupe d'enfants témoins non hémiplésiques du même âge.

Préalablement aux tests, il nous semble nécessaire de réaliser un bilan orthoptique et/ou ophtalmologique, un bilan neuropsychologique (dépistage d'un retard global des acquisitions à l'aide des échelles de Wechsler ou WIPPSI) et un bilan ergothérapeutique (tests papiers NEPSY), afin de préciser le type de déficience cognitive si elle existe.

L'évaluation doit comporter des tests susceptibles d'évaluer différentes particularités de l'exploration visuelle incluant notamment une épreuve d'observation d'images fixes avec dénomination d'objet et avec tâche de recherche visuelle, une épreuve de poursuite visuelle, une épreuve de lecture. Il serait intéressant de prévoir un test supplémentaire dont la consigne intégrerait la réalisation d'anti-saccades. Cet exercice serait destiné à mettre en évidence un éventuel trouble attentionnel.

CONCLUSION

L'utilisation du photo-oculographe binoculaire est possible chez l'enfant normal. Cela ouvre de nouvelles perspectives pour la détection et l'étude d'éventuelles anomalies de la stratégie du regard de l'enfant présentant un handicap lorsque ce dernier se traduit par une altération des fonctions cognitives et/ou visuelles.

L'observation des saccades et des fixations permet de quantifier la prise d'informations et d'identifier l'ordre logique des opérations de repérage réalisées par l'enfant en fonction de zones d'intérêt prédéfinies. L'analyse de ces données laisse apparaître les processus cognitifs sous-jacents à la tâche visuelle effectuée, sans qu'il soit possible, néanmoins, de déterminer quels paramètres, des saccades et des fixations (nombre, durées) reflètent d'une part le phénomène de recherche visuelle et, d'autre part, le traitement de l'information. L'interprétation des résultats obtenus dépend de la consigne préalable donnée à l'enfant. Un soin particulier doit donc être apporté à l'élaboration des tests visuels, en fonction du but poursuivi.

Ultérieurement il importera de déterminer l'intérêt de cette technique non plus à des fins uniquement diagnostiques mais également pour l'évaluation de l'efficacité de la rééducation mise en place grâce à la réalisation d'examens photo-oculographiques avant et après traitement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Collewijn H, Erkelens CJ & Steinman RM. Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. *J Physiol* (1988) **404**: pp. 157-182.
- [2] Bruce CJ & Goldberg ME. Primate frontal eye fields. i. single neurons discharging before saccades. *J Neurophysiol* (1985) **53**: pp. 603-635.
- [3] Schall JD. Neuronal activity related to visually guided saccades in the frontal eye fields of rhesus monkeys: comparison with supplementary eye fields. *J Neurophysiol* (1991) **66**: pp. 559-579.
- [4] Mays LE & Sparks DL. Dissociation of visual and saccade-related responses in superior colliculus neurons. *J Neurophysiol* (1980) **43**: pp. 207-232.
- [5] Huerta MF, Krubitzer LA & Kaas JH. Frontal eye field as defined by intracortical microstimulation in squirrel monkeys, owl monkeys, and macaque monkeys: i. subcortical connections. *J Comp Neurol* (1986) **253**: pp. 415-439.
- [6] Tian JR & Lynch JC. Functionally defined smooth and saccadic eye movement subregions in the frontal eye field of cebus monkeys. *J Neurophysiol* (1996) **76**: pp. 2740-2753.
- [7] Komatsu H & Wurtz RH. Relation of cortical areas mt and mst to pursuit eye movements. i. localization and visual properties of neurons. *J Neurophysiol* (1988) **60**: pp. 580-603.
- [8] Schiller PH, True SD & Conway JL. Deficits in eye movements following frontal eye-field and superior colliculus ablations. *J Neurophysiol* (1980) **44**: pp. 1175-1189.
- [9] Brown MRG, Goltz HC, Vilis T, Ford KA & Everling S. Inhibition and generation of saccades: rapid event-related fmri of prosaccades, antisaccades, and nogo trials. *Neuroimage* (2006) **33**: pp. 644-659.

- [10] Nyffeler T, Müri RM, Bucher-Ottiger Y, Pierrot-Deseilligny C, Gaymard B & Rivaud-Pechoux S. Inhibitory control of the human dorsolateral prefrontal cortex during the anti-saccade paradigm - a transcranial magnetic stimulation study. *Eur J Neurosci* (2007) **26**: pp. 1381-1385.
- [11] Corbetta M, Akbudak E, Conturo TE, Snyder AZ, Ollinger JM, Drury HA, Linenweber MR, Petersen SE, Raichle ME, Van Essen DC & Shulman GL. A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron* (1998) **21**: pp. 761-773.
- [12] Berman RA, Colby CL, Genovese CR, Voyvodic JT, Luna B, Thulborn KR & Sweeney JA. Cortical networks subserving pursuit and saccadic eye movements in humans: an fmri study. *Hum Brain Mapp* (1999) **8**: pp. 209-225.
- [13] Beauchamp MS, Petit L, Ellmore TM, Ingelholm J & Haxby JV. A parametric fmri study of overt and covert shifts of visuospatial attention. *Neuroimage* (2001) **14**: pp. 310-321.
- [14] Granrud CE. Binocular vision and spatial perception in 4- and 5-month-old infants. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* (1986) **12**: pp. 36-49.
- [15] Garbutt S, Harwood MR & Harris CM. Infant saccades are not slow. *Dev Med Child Neurol* (2006) **48**: pp. 662-667.
- [16] Fukushima J, Hatta T & Fukushima K. Development of voluntary control of saccadic eye movements. i. age-related changes in normal children. *Brain Dev* (2000) **22**: pp. 173-180.
- [17] Lengyel D, Weinacht S, Charlier J & Gottlob I. The development of visual pursuit during the first months of life. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* (1998) **236**: pp. 440-444.

- [18] Phillips JO, Finocchio DV, Ong L & Fuchs AF. Smooth pursuit in 1- to 4-month-old human infants. *Vision Res* (1997) **37**: pp. 3009-3020.
- [19] Bloch H & Carchon I. On the onset of eye-head coordination in infants. *Behav Brain Res* (1992) **49**: pp. 85-90.
- [20] Ross RG, Radant AD & Hommer DW. A developmental study of smooth pursuit eye movements in normal children from 7 to 15 years of age. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* (1993) **32**: pp. 783-791.
- [21] Rüttsche A, Baumann A, Jiang X & Mojon DS. Development of visual pursuit in the first 6 years of life. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* (2006) **244**: pp. 1406-1411.
- [22] Buquet C, Charlier J, Toucas S & Quere MA. [a new technic for recording eye movements by image processing. principle and method]. *Bull Soc Ophthalmol Fr* (1990) **90**: p. 395-8, 400.
- [23] Quéré MA, Toucas S, Buquet C, Charlier J, Lavenant F & Pechereau A. [differential photo-oculography of vertical and oblique movements]. *Ophthalmologie* (1990) **4**: pp. 109-115.
- [24] Merchant J, Morrissette R & Porterfield JL. Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space. *IEEE Trans Biomed Eng* (1974) **21**: pp. 309-317.
- [25] Charlier JR & Hache JC. New instrument for monitoring eye fixation and pupil size during the visual field examination. *Med Biol Eng Comput* (1982) **20**: pp. 23-28.
- [26] Buquet C. Une nouvelle méthode d'évaluation clinique de l'oculomotricité par traitement d'images de l'oeil : la photo-oculographie. Thèse de Doctorat en Génie Biologique et Médical. Lille II. 1989.

- [27] Toucas S, Quere MA, Buquet C & Charlier J. [comparative study of electrooculographic and photooculographic recordings]. *Bull Soc Ophthalmol Fr* (1990) **90**: pp. 401-407.
- [28] Duchowski AT. A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behav Res Methods Instrum Comput* (2002) **34**: pp. 455-470.
- [29] Chapman PR & Underwood G. Visual search of driving situations: danger and experience. *Perception* (1998) **27**: pp. 951-964.
- [30] Svensson E, Angelborg-Thanderz M, Sjoberg L & Olsson S. Information complexity--mental workload and performance in combat aircraft. *Ergonomics* (1997) **40**: pp. 362-380.
- [31] Jullien A. DG. Développement d'une application "où est passé charlie?" avec facelabtm. Première année de Master mention Informatique, Mathématiques et leurs Applications. 2004-2005.
- [32] Oyekoya O.K. & Stentiford F.W.M. Eye tracking as a new interface for image retrieval. *BT Technology Journal* (2004) **22,3**.
- [33] Quéré MA, Toucas S, Buquet C & Charlier J. [analysis of vergence movements using differential photo-oculography]. *Ophthalmologie* (1990) **4**: pp. 270-274.
- [34] Duret F, Issenhuth M & Safran AB. Combined use of several preferred retinal loci in patients with macular disorders when reading single words. *Vision Res* (1999) **39**: pp. 873-879.
- [35] Beis J.M., Andre J.M., Frenay C., Datie A.M., Vielh A., Paysant J., Brugerolle B. Intérêt de la photo-oculographie dans l'évaluation des troubles visuo-spatiaux en rééducation. *J Fr Réadapt Med.* (1995) **38,4**: pp. 207-210.

- [36] Beis J, André J, Datie AM & Brugerolle B. Eye movements and verbal reports in neglect patients during a letter reading task. *NeuroRehabilitation* (2002) **17**: pp. 145-151.
- [37] Riss L. Evaluation de la stratégie du regard chez l'enfant I.M.C. ancien prématuré par photo-oculographie. Thèse doctorat médecine Nancy. 1999.
- [38] Segulier C. Analyse de l'oculomotricité et de la stratégie de regard par la méthode photo-oculographique chez le parkinsonien. Thèse doctorat médecine Tours. 1992.
- [39] Kumra S, Sporn A, Hommer DW, Nicolson R, Thaker G, Israel E, Lenane M, Bedwell J, Jacobsen LK, Gochman P & Rapoport JL. Smooth pursuit eye-tracking impairment in childhood-onset psychotic disorders. *Am J Psychiatry* (2001) **158**: pp. 1291-1298.
- [40] Buquet C, Desmidt A, Charlier J & Querleu D. [evaluation of spatial discrimination performances of newborn infants with the visual pursuit of structured stimuli]. *C R Acad Sci III* (1992) **314**: pp. 133-140.
- [41] Breyer A, Jiang X, Rüttsche A & Mojon DS. A new 3d monitor-based random-dot stereotest for children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* (2006) **47**: pp. 4842-4846.
- [42] LaCourse JR & Hludik FCJ. An eye movement communication-control system for the disabled. *IEEE Trans Biomed Eng* (1990) **37**: pp. 1215-1220.
- [43] Thoumie P, Charlier JR, Alecki M, D'Erceville D, Heurtin A, Mathe JF, Nadeau G & Wiart L. Clinical and functional evaluation of a gaze controlled system for the severely handicapped. *Spinal Cord* (1998) **36**: pp. 104-109.
- [44] Charlier J., Vermandel S., Dubus F., Huguex J.P. Visioboard : a gaze controlled multimedia computer for severely handicapped subjects. *Medical and Biological Engineering and Computing* (1997) **35**: p. 416.

- [45] Charlier JR, Sourdille P, Behague M & Buquet C. [eye controlled microscope used in ophthalmic microsurgery]. *J Fr Ophthalmol* (1992) **15**: pp. 299-303.
- [46] Billard C, Ducot B, Pinton F, Coste-Zeitoun D, Picard S & Warszawski J. [validation of brev: comparison with reference battery in 173 children with learning disorders]. *Arch Pediatr* (2006) **13**: pp. 23-31.
- [47] <http://www.seeingmachines.com/>
- [48] Datié A, Paysant J, Destainville S, Sagez A, Beis J & André J. Eye movements and visuo-verbal descriptions exhibit heterogeneous and dissociated patterns before and after prismatic adaptation in unilateral spatial neglect. *Eur J Neurol* (2006) **13**: pp. 772-779.
- [49] Yarbus AL. Eye movements during the examination of complicated objects. *Biofizika* (1961) **6(2)**: pp. 52-56.
- [50] Gottlieb JP, Kusunoki M & Goldberg ME. The representation of visual salience in monkey parietal cortex. *Nature* (1998) **391**: pp. 481-484.
- [51] Andrews TJ & Coppola DM. Idiosyncratic characteristics of saccadic eye movements when viewing different visual environments. *Vision Res* (1999) **39**: pp. 2947-2953.
- [52] Loftus GR. Picture perception: effects of luminance on available information and information-extraction rate. *J Exp Psychol Gen* (1985) **114**: pp. 342-356.
- [53] Ramat S & Zee DS. Binocular coordination in fore/aft motion. *Ann N Y Acad Sci* (2005) **1039**: pp. 36-53.

VU

NANCY, le **14 septembre 2007**
Le Président de Thèse

Professeur J.M. ANDRE

NANCY, le **27 septembre 2007**
Le Doyen de la Faculté de Médecine

1.
Professeur P. NETTER

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **8 octobre 2007**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Professeur J.P. FINANCE

RESUME DE LA THÈSE

La photo-oculographie **binoculaire** enregistre simultanément les mouvements oculaires des deux yeux. Cette **technique** permet l'évaluation des stratégies d'exploration visuelle. L'objet de notre étude est d'en déterminer la faisabilité et la pertinence auprès d'une population d'enfants **normaux**.

Nous rappelons dans **une première** partie les bases anatomiques du regard normal, les modalités de la recherche **visuelle** et le rôle joué par les phénomènes attentionnels dans la modulation des **mouvements** oculaires ainsi que les caractéristiques du regard de l'enfant normal et ses techniques d'exploration.

Le deuxième volet porte **sur** l'analyse des mouvements oculaires par photo-oculographie binoculaire de trente **enfants** sains, âgés de 6 à 12 ans, issus des quatre départements lorrains, au moyen de **diaporamas** d'images fixes et d'épreuves de poursuite visuelle.

Les résultats de l'étude **sont** cohérents et correspondent aux données de la littérature. La technique s'avère facile à **utiliser** chez l'enfant.

L'analyse des données **confirme** la thèse selon laquelle l'objectif poursuivi durant l'exploration d'un test **visuel** influence la stratégie de regard, et laisse apparaître le rôle des fonctions **attentionnelles** et de mémorisation dans l'exploration visuelle. Cela ouvre de nouvelles perspectives pour la détection et l'étude d'éventuelles anomalies de la stratégie du regard de **l'enfant** présentant un handicap lorsque ce dernier se traduit par une altération des fonctions **cognitives** et/ou visuelles. Ultérieurement, cette technique pourrait permettre l'évaluation de l'efficacité de la rééducation, grâce à la réalisation d'examens photo-oculographiques avant et après traitement.

TITRE EN ANGLAIS

Children's gaze strategies **and** binocular photo-oculography.
Fesability and relevance.

THESE : MEDECINE SPECIALISEE – ANNEE 2007

MOTS CLEFS : photo-oculographie binoculaire – stratégies visuelles – enfant – perspectives.

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. :

Faculté de médecine de Nancy
9, avenue de la forêt de Haye
54505 – VANDOEUVRE LES NANCY Cedex