



Effets à long terme de la prématurité sur les habiletés perceptivo-motrices chez des enfants âgés de 8 ans

Charline Madelaine

► To cite this version:

Charline Madelaine. Effets à long terme de la prématurité sur les habiletés perceptivo-motrices chez des enfants âgés de 8 ans. Psychologie. Normandie Université, 2019. Français. NNT : 2019NORMC016 . tel-02366199

HAL Id: tel-02366199

<https://theses.hal.science/tel-02366199>

Submitted on 15 Nov 2019

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.



Normandie Université

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité PSYCHOLOGIE

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Effets à long terme de la prématurité sur les habiletés perceptivo-motrices chez des enfants âgés de 8 ans

**Présentée et soutenue par
Charline MADELAINE**

**Thèse soutenue publiquement le 06/09/2019
devant le jury composé de**

Mme CHRISTINE ASSAIANTE	Directeur de recherche au CNRS, Université Aix Marseille 2 Méditerranée	Rapporteur du jury
Mme DANIELA CORBETTA	Professeur, Université d'Etat du Tennessee USA	Rapporteur du jury
M. BERNARD GUILLOIS	Professeur des universités PraticienHosp, Université Caen Normandie	Membre du jury
Mme ISABELLE OLIVIER	Professeur des universités, Université Grenoble Alpes	Membre du jury
Mme ARLETTE STRERI	Professeur des universités, Université Paris 5 Descartes	Président du jury
Mme MICHELE MOLINA	Professeur des universités, Université Caen Normandie	Directeur de thèse
M. NICOLAS BENGUIGUI	Professeur des universités, Université Caen Normandie	Co-directeur de thèse

Thèse dirigée par MICHELE MOLINA et NICOLAS BENGUIGUI, Laboratoire de Psychologie de Caen Normandie



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



LABORATOIRE
DE PSYCHOLOGIE
CAEN NORMANDIE

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mes directeurs de thèse, Mme Michèle Molina et M. Nicolas Benguigui, ainsi que la Région Normandie, qui m'ont donné l'opportunité d'effectuer ce travail de recherche. Je remercie également les Pr. Daniela Corbetta, Christine Assaïante, Isabelle Olivier, Arlette Streri et le Dr. Bernard Guillois de me faire l'honneur de participer à mon jury de thèse.

Je tiens aussi à remercier des personnes sans qui ce travail de recherche n'aurait pas pu aboutir. Je pense notamment au Pr. Farley Norman qui m'a fait confiance depuis l'autre côté de l'Atlantique. Mais aussi à Luc Skrzypeck et Johnny Leveneur pour la mise en place technique du protocole. Merci aussi à Leslie Decker, Emma Dupuy et Maroua Mallek qui m'ont été d'une aide très précieuse dans les analyses à mener. Et je n'oublie pas non plus Marc Aguert qui a réussi à rendre les statistiques plus sympathiques à mes yeux.

Par ailleurs, ce travail de recherche n'aurait aussi pas pu se réaliser sans la disponibilité et la motivation des participants et de leurs familles. Un grand merci à eux. Dans la foulée, je remercie l'ensemble des personnes qui ont rendu possible les rencontres avec ces familles : les directrices et directeurs d'écoles ; les équipes éducatives et les agents de service qui ont eu la gentillesse de laisser mes scotchs collés par terre ; le Dr Bernard Guillois et le Dr Valérie Datin-Dorrière, médecins du service de Néonatalogie du CHU de Caen ; Sarah Colin, secrétaire du CHU de Caen ; les services de sécurité du Campus de l'Université de Caen ; et enfin le personnel de La Poste du Chemin Vert pour avoir géré mes centaines de courriers et m'avoir autorisé à utiliser leur tampon (je peux noter dans mon CV une expérience professionnelle à la Poste).

Ce travail c'est aussi de nombreux soutiens tout au long de ce parcours du combattant. Je tiens particulièrement à remercier Victoria et Morgane pour leur accueil en plein déménagement de bureau, puis Annie pour sa présence dans ce même bureau. Un autre grand merci à Malia, Kévin et Eva pour tous ces repas au RU qui étaient de véritables bouffées d'oxygènes. Et merci à tous les autres collègues psychologues, économistes, gestionnaires, biologistes, historiens, géographes, sociologues, neuroscientifiques, physiologistes, STAPsiens, littéraires, ... qui m'ont accordé une partie de leur temps pour élaborer des

projets, refaire le monde, râler, partager leur passion pour la recherche, ou juste papoter un peu.

Je souhaite remercier l'ensemble de l'équipe de la MRSH (accueil, comptabilité, gestion, courrier, cafétéria, communication) pour leur disponibilité et leur patience face à la tornade que je peux être lorsque je monte au deuxième étage. Et aussi les équipes pédagogique et administrative de l'UFR de Psychologie et de l'UFR STAPS qui m'ont accompagné dans mes premiers enseignements et mes premières copies à corriger.

Je tiens aussi à remercier ici d'autres personnes plus éloignées du monde de la recherche : mes collègues bénévoles nationaux et internationaux de l'Association Française des Hémophiles ; Sylvie Jeanne, mon enseignante de Japonais ; et aussi Mô Honor, pour m'avoir accompagné dans la découverte du monde de l'écriture. Il m'est aussi impossible d'oublier mes amies de longue date (pour éviter de les lister je pars du principe qu'elles se reconnaîtront). Un immense merci pour le soutien infaillible de ma mère (c'est une thèse qui a coûté cher en cierges), et à l'ensemble de ma famille et de ma belle-famille (aux repas de famille : « Elle est où Charline ? » « Elle travaille. »). Merci à Chantal Colmont pour sa relecture de l'abstract.

Il ne me reste plus qu'à remercier mon jeune mari, Thomas Brunet, qui m'a accompagné et soutenu tout au long de ces douze années d'étude. Merci pour tout mon amour.

COMMUNICATIONS EN LIEN AVEC LE TRAVAIL DE THÈSE

➤ Communications affichées

Madelaine, C., Benguigui, N., Norman, J. F., Molina, M. (2017). Effets de la prématurité sur le développement des capacités intermodalitaires des enfants anciens grands prématurés d'âge scolaire. 58ème Congrès annuel de la SFP, Nice, 30/08-01/09.

Madelaine, C., Benguigui, N., Mallek, M., Guillois, B., Molina, M. (2017). Effets de la grande prématurité chez les enfants d'âge scolaire sur le contrôle du mouvement dans une tâche de poursuite visuomanuelle. 17ème Congrès internationale de l'ACAPS, Dijon, 29/10-31/10.

➤ Communication orale

Madelaine, C., Benguigui, N., Guillois, B., Molina, M. (2018). Effets de la grande prématurité sur la régulation posturale chez des enfants âgés de 8 ans. Journée Scientifique des Jeunes Chercheurs en Psychologie, Poitiers, 15/06.

ACTIVITÉS CONNEXES AU TRAVAIL DE THÈSE

Vulgarisation scientifique

- « Se former à la médiation scientifique », deux journées théoriques, le 9 juin 2016 et le 9 juin 2017 (Relais d'Sciences, Dôme, Caen)
- Participations à l'Atelier du chercheur dans le cadre de la fête de la Science en Octobre 2016 et 2017 (trois établissements : un collège (Mortain), un collège/lycée (Deauville), un lycée (Bayeux))
- Participation au Concours MT180 sec, finale Normande 15 février 2018, Hémicycle de la Région, Rouen
- Travail de vulgarisation des résultats de la recherche pour faire un retour aux familles et aux écoles

Responsabilités administratives

- Représentante des doctorants et doctorantes au Conseil de l'ED HSRT 556 – 27 janvier 2016 : élue pour 2 ans
- Représentante des doctorants et doctorantes au Conseil du LPCN EA 7452 - 22 février 2017 : élue pour 2 ans
- Représentante à la Commission de la Recherche – 20 Mars 2018 : élue pour 2 ans

Enseignements (2016-2019)

- Psychologie du développement, niveau L1, Psychologie (36h TD)
- Individus, groupes et sociétés, niveau L1, Psychologie (32h TD)
- Statistiques, niveau L2, Psychologie (64h TD)
- Statistiques, niveau L2, STAPS (35h TD)
- Statistiques, niveau M1, STAPS filière Ergonomie (10h CM / 10h TD)
- Traitement de l'information, niveau L3, STAPS filière Ergonomie (8h TD)
- Psychologie de la Santé, niveau M1, STAPS filière APAS (12h CM / 12h TD)
- Neurosciences, niveau L2, STAPS (12h TD)

Organisation d'événements scientifiques

- Organisation d'un événement grand public avec une équipe de doctorants et de doctorantes en SHS (16 Juin 2018, Le Dôme, Caen). Programme ci-joint.
- Organisation de la deuxième édition de l'événement grand public avec une équipe de doctorants et de doctorantes en SHS (2 Février 2019, MRSH, Campus 1 Université Caen Normandie). Programme ci-joint.

Autres

- Participation aux Doctoriales. Saint-Valéry-en-Caux. 16-20 Avril 2018.
- Travail clinique de rédaction de compte-rendu pour les familles, les médecins, ainsi que des recommandations pour les parents et les écoles.
- Participation à l'élaboration d'une brochure du réseau NormanDys sur Les Troubles Développementaux de la Coordination (TDC)
- Réalisation d'un sondage avec Kévin Fourrey, doctorant en économie, auprès des doctorants normands à la rentrée 2018 (résultats publiés sur le site Internet de l'Université)

À LA DÉCOUVERTE DE LA RECHERCHE EN SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

LES DOCTORANTS VOUS RACONTENT

C'EST UNE PREMIÈRE AU DÔME !

Les doctorants vous présentent la recherche scientifique en gestion, histoire, littérature, psychologie, sociologie, philosophie...

Ces disciplines incarnent les multiples facettes de la recherche en Sciences Humaines et Sociales.

SAMEDI 16 JUIN 2018 | 14H00

LE DÔME - 3 ESPLANADE STÉPHANE HESSEL - CAEN

Accès libre et gratuit, dans la limite des places disponibles

Contact : charline.madelaine@unicaen.fr



PROGRAMME

14H : ACCUEIL

14H30 : PANEL N°1 - HISTOIRE ET LITTÉRATURE

« Vous jouez au Moyen Âge ? » : La reconstitution historique entre loisir contemporain et re-création du passé

Martin Bostal (Archéologie médiévale, Centre Michel de Bouïard-CRAHAM)

Français et Ecossais au Moyen Âge : amitié sincère ou mariage forcé ?

Clément Guézais (Civilisation britannique, ERIBIA)

La société française de l'entre-deux guerres vue par les écrivains soviétiques

Tatévik Kharatyan (Civilisation russe, ERLIS)

15H35 : PANEL N°2 - NEUROSCIENCES, ART ET ÉCONOMIE

Comment se construit la valeur d'un bien dont le prix ne détermine pas sa valeur ? L'exemple des biens culturels

Boris Collet (Sciences de gestion, NIMEC)

Cerveau et Art : comment chacun permet de mieux comprendre l'autre

Renaud Coppalle (Neuropsychologie, INSERM / EPHE)

Réalité virtuelle, immersion et neurosciences

Arthur Maneuvrier (Réalité virtuelle & Neurosciences, CIREVE / COMETE)

16H40 : PANEL N°3 - SOCIOLOGIE ET PHILOSOPHIE

Aller à l'école quand on a un handicap : une difficulté toujours présente ?

Cathy Bailleul (Sociologie, CERREV)

Le citoyen, un concept révolutionnaire ?

Guillaume Perzo-Piel (Philosophie, ERIAC)

17H35 : LE MOT DE LA FIN

À la fin de chaque panel, un temps d'échanges avec les doctorants vous sera proposé dans une ambiance conviviale.

C'est sur quoi votre thèse déjà ?



Histoire

Littérature

Langues

Psychologie

Sociologie

Gestion

RENDEZ-VOUS AVEC LES DOCTORANTS EN SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES, 2^e édition

SAMEDI 2 FÉVRIER 2019, 13H30

Amphithéâtre de la MRSH - Campus 1
Université de Caen Normandie

Contact : mediationsfhs2019@unicaen.fr



PROGRAMME DEMI-JOURNÉE DE MÉDIATION EN SHS

13h30 : Accueil du public

14h00 : Introduction

HISTOIRE, LITTÉRATURE ET LANGAGE (14H30-15H30)

- **Charlotte-Isabelle Le Ridée**, « Le libertinage de mœurs dans la société normande du XVIII^e siècle : femmes adultères, filles de mauvaise vie et mésalliances. » (HisTeMé, Histoire moderne, Université de Caen Normandie)
- **Vasiliki Sakellariou**, « La Rue Sans Joie : Du roman au film. Représentation d'une société en détresse. » (ERLUS, Études Germaniques, Université de Caen Normandie)
- **Dominique Mantelli**, « Du radeau de Huckleberry Finn au canoé d'Eddy L. Harris : la traduction du Mississippi et le Mississippi en traduction. » (ERIAC, Littérature américaine, Université de Rouen Normandie)

PSYCHOLOGIE ET SOCIOLOGIE (16H00-17H00)

- **Maxime Mauduy**, « Dire une chose et en faire une autre : L'hypocrisie induite au service de la prévention des discriminations entre élèves » (LPCN, Psychologie sociale, Université de Caen Normandie)
- **Pauline Rasset**, « Voir et accepter la défiguration faciale : où l'on apprend que « le méchant » n'est pas celui que l'on croyait. » (LPCN, Psychologie sociale, Université de Caen Normandie)
- **Léa Castanon**, « Une doctorante à l'hôpital » (DySoLab, Sociologie, Université de Rouen Normandie)

SCIENCES DE GESTION (17H30-18H10)

- **Maxime David**, « Influence des médias sociaux sur les comportements alimentaires des jeunes adultes » (NIMEC, Gestion, Université Le Havre Normandie)
- **Khawla Jellouli**, « La consommation des insectes : quel avenir en France ? » (NIMEC, Gestion, Université de Caen Normandie)

18h30 : Conclusion et clôture

Chaque ensemble de communications est prolongé par une pause pour échanger avec les doctorant(e)s autour d'une boisson chaude.

Retrouvez les résus des communications

sur [ECHO SCIENCES](#) ET [FACEBOOK](#) :

« Rendez-vous avec les doctorants en sciences humaines et sociales »

RÉSUMÉ

La naissance prématurée se caractérise par des expériences multisensorielles et sensorimotrices atypiques lors d'une période du développement très sensible à ces dernières (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). Les recherches ont mis en évidence un impact significatif de la prématurité sur le développement des enfants (Marret et al., 2015) induisant notamment des troubles perceptivo-moteurs avec ou sans troubles neurologiques associés (De Rose et al., 2013). Cependant, si beaucoup d'études portent sur la motricité des nouveau-nés et nourrissons nés prématurés, peu de données existent sur le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. La question principale abordée dans cette thèse est de savoir si la prématurité n'induit pas des signatures motrices spécifiques, même en absence de ces troubles. Dans l'objectif de répondre à cette question, différents tests standardisés, et trois tâches expérimentales impliquant la perception des équivalences intermodalitaires, la coordination visuomotrice et le contrôle postural, ont été proposés à 48 enfants nés à terme et 32 enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental et tous âgés de 8 ans. Les résultats ont mis en évidence dans les deux groupes des habiletés comparables de perception des équivalences intermodalitaires dans les modalités haptique et visuelle. Cependant, ils ont aussi révélé une efficacité moindre de la coordination visuomotrice et du contrôle postural chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme. Ces différences suggèrent des processus perceptivo-moteurs différents chez les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans. Ces résultats offrent ainsi de nouvelles perspectives cliniques, notamment d'évaluation plus fine des habiletés perceptivo-motrices, ainsi que de nouveaux questionnements de recherche sur les trajectoires développementales de ces mêmes habiletés et des réseaux neuronaux sous-jacents chez les enfants nés prématurés.

Mots clés : naissance prématurée, habiletés perceptivo-motrices fines et globales, coordination visuomotrice, équivalences intermodalitaires, contrôle postural

ABSTRACT

Preterm birth is associated with atypical multisensory and sensorimotor experiences during a period of development sensitive to these experiences (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). The studies showed a significant impact of prematurity on children development (Marret et al., 2015), such as perceptual-motor disorders, with or without associated neurological disorders (De Rose et al., 2013). However, even though there are many studies on motor abilities of preterm newborns and preterm infants, little data exists on perceptual-motor development of preterm children without neurodevelopmental disorders. The main question addressed in this thesis is to know whether prematurity does induce specific motor signatures, even in the absence of neurodevelopmental disorders. To answer this question, different standardized tests and three research tasks involving perception of intersensory equivalences, visuomotor coordination, and postural control, have been proposed to 48 full-term children and 32 very preterm children without any diagnosis of neurodevelopmental disorders, all aged 8 years old. The results revealed comparable perception abilities of intersensory equivalences in haptic and visual modalities in the preterm and the full-term groups. However, they also showed a lower efficiency of visuomotor coordination and postural control in the preterm children compared to the full-term children. These observations suggest different perceptual-motor processes in very preterm children without diagnosis of neurodevelopmental disorders at the age of 8. The results offer new clinical opportunities for a more precise evaluation of perceptual-motor abilities, and new research questions about developmental trajectories of perceptual-motor abilities and underlying neuronal networks, in preterm children.

Key word: preterm birth, fine and global perceptual-motor abilities, visuomotor coordination, intersensory equivalences, postural control

ACRONYMES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

- AAP : American Academy of Pediatrics
- AC : Age corrigé
- AIMS : Alberta Infant Motor Scale
- ANT : Amsterdam Neuropsychological Tasks
- AP : Antéro-postérieur
- BABE : Evaluation des compétences visuo-attentionnel du bébé
- BOTMP ou BOT : Bruininks Oseretsky Test of Motor Proficiency (version 1 ou 2)
- BSID : Bayley Scales of Infant Development - version 1 ou 2 (composé du : Mental developmental index ou MDI et Psychomotor developmental index ou PDI)
- CBCL : Achenbach Child Behavior Checklist
- CCTIRS : Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé
- CdP : Centre des Pressions
- CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
- CPP : Comité de Protection des Personnes
- cVEMP : potentiels évoqués myogéniques ou vestibulaires cervicaux
- DSM : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
- DVM : Délai visuomoteur
- EPIPAGE : Etude épidémiologique sur les petits âges gestationnels
- ETF : Echographie transfontanellaire
- EVA : Evaluation Visuo-Attentionnelle
- FA : Fausse alarme (mauvaise réponse pour des objets identiques)
- FL : Flux optique
- H : Haptique / T : Tactile
- HIT : Succès (bonne réponse pour des objets différents)
- INFANIB : Infant Neurological International Battery
- KMC : Kangaroo Mother Care
- KTK : Körperkoordinationstest für Kinder
- LPV : Leucomalacie périventriculaire
- M-ABC : Movement Assessment Battery for Children – version 1 ou 2 (Henderson & Sugden, 1992; Henderson, Sugden, & Barnett, 2007)
- MG : Mouvements généraux
- ML : Médio-latéral
- MLS : Motorisch Leistungsserie
- MSRH : Maison de la Recherche en Sciences Humaines (Campus 1, Université de Caen)
- NEPSY : Developmental NEuroPSYchological Assessment – version 1 ou 2 (Korkman et al., 1998)
- NIDCAP : Neonatal Individualized Developmental Care and Assessment Program
- NT : Nés à Terme
- OM : Omission (mauvaise réponse pour des objets différents)
- OMS ou WHO : Organisation Mondiale de la Santé
- PC : Paralysie cérébrale

- PEGV : Protocole Montréal-Toulouse d'Evaluation des Gnosies Visuelles (Agniel, Joannette, Doyon, & Duchein, 1992)
- PT : Nés Prématurés
- QI : Quotient intellectuel
- RC : Rejet correct (bonne réponse pour des objets identiques)
- RMS : Root mean square, moyenne quadratique de l'amplitude des déplacements du CdP
- SA : Semaines d'aménorrhée
- TAC : Trouble d'Acquisition de la Coordination
- TDAH : Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité
- TOMI : Test of Motor Impairment
- TR : Temps de réponse ou Temps de réaction
- TSFI : Test of Sensory Functions in Infants (De Gangi & Greenspan, 1989)
- V : Visuel
- VMI : Developmental Test of Visual Motor Integration ou Visuo-Motor Integration test (Beery, 2004)
- VVS : Verticale visuelle subjective
- WISC : Wechsler intelligence scale for children-WISC
- WPPSI : Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence
- YF : Yeux fermés
- YO : Yeux ouverts

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : QU'EST-CE QUE LA PRÉMATURITÉ ?	4
1. DEFINITION DE LA PREMATURITE.....	4
2. ÉPIDÉMIOLOGIE	6
2.1. Au niveau mondial.....	6
2.2. Au niveau national	7
2.3. Étiologie et augmentation des naissances prématurées.....	8
3. CONSEQUENCES DE LA PREMATURITE SUR LA SURVIE ET LA MORBIDITE PERINATALE	9
3.1. Survie en service de Néonatalogie	9
3.2. Morbidité néonatale	10
CHAPITRE II – UNE APPROCHE NON LINÉAIRE DU DÉVELOPPEMENT	12
1. LES APPROCHES EPIGENETIQUES	12
2. DU DEVELOPPEMENT TYPIQUE AU DEVELOPPEMENT ATYPIQUE : TRAJECTOIRES DEVELOPPEMENTALES DEVIEES ET EMERGENCE DE LA PATHOLOGIE	14
3. COUPLAGES PERCEPTION-ACTION DANS LES INTERACTIONS ENTRE L'INDIVIDU ET SON ENVIRONNEMENT	16
CHAPITRE III – LA PÉRIODE PÉRINATALE : RÔLE CLÉ DES EXPÉRIENCES SENSORIELLES ET DES COUPLAGES ENTRE ACTION ET PERCEPTION	18
1. LA PERIODE PERINATALE : UNE PERIODE CRITIQUE.....	18
1.1. Notion de période critique.....	18
1.2. Expérimentations autour des périodes critiques	19
1.3. Développement neurologique du troisième trimestre de gestation	19
2. DEVELOPPEMENT PERCEPTIF PRECOCE ET EXPERIENCES MULTISENSORIELLES	20
2.1. Développement des fonctions sensorielles	20
2.2. Expériences multisensorielles périnatales	22
2.3. Perturbation des expériences sensorielles précoces	23
3. EXPERIENCES SENSORIMOTRICES PRECOCES ET DEVELOPPEMENT	26
3.1. Perturbation des expériences sensorimotrices précoces	26
3.2. Expériences sensorimotrices précoces et processus de maturation neuronale	27
3.3. Rôle de la variabilité des expériences sensorimotrices.....	28
CHAPITRE IV - LE DÉVELOPPEMENT À COURT TERME DU NOUVEAU-NÉ PRÉMATURÉ : EXPÉRIENCES ATYPIQUES ET CONSÉQUENCES SUR LE DÉVELOPPEMENT PERCEPTIVO-MOTEUR.....	30
1. EXPERIENCES SENSORIELLES ET SENSORIMOTRICES DU NOUVEAU-NE PREMATURE	31
1.1. Rupture de l'hétérochronie sensorielle	31
1.2. Environnement sensoriel et multisensoriel atypique en service de réanimation et de soins intensifs	31
1.3. Limitation des mouvements spontanés	34
2. CONSEQUENCES SUR LE DEVELOPPEMENT PERCEPTIVO-MOTEUR	36
2.1. Etudes des trajectoires du développement perceptivo-moteur par le biais de tests standardisés.....	36
2.2. Utilisation de quelques mesures prédictives	38
2.3. Observations des mouvements généraux comme outil de prédiction du développement.....	39

2.4. Lien entre motricité précoce et maturation cérébrale : un modèle informatique	42
3. FACTEURS DE PROTECTION APPORTES AU SEIN DU SERVICE DE NEONATALOGIE	43
3.1. Soins de développement	43
3.2. Interventions possibles sur la posture	43
3.3. Soins de développement - Efficacité	45
3.4. Limites des programmes de soins	46
CHAPITRE V - DÉVELOPPEMENT PERCEPTIVO-MOTEUR DE L'ENFANT NÉ PRÉMATURÉ	48
1. CONSEQUENCES GENERALES DE LA PREMATURITE A LONG TERME	48
1.1. Conséquences de la naissance prématurée sur le développement cérébral	48
1.2. Conséquences sur le développement sensoriel	53
1.3. Conséquences à long terme sur le développement cognitif	53
1.4. Performances scolaires et soins spécifiques	55
2. DEVELOPPEMENT NEUROMOTEUR ET PERCEPTIVO-MOTEUR A LONG TERME DES ENFANTS NES PREMATURES	56
2.1. Les troubles neuromoteurs	56
2.2. Le Trouble d'Acquisition de la Coordination	59
2.3. Troubles perceptivo-moteurs en dehors du diagnostic de TAC	62
3. DEVELOPPEMENT PERCEPTIVO-MOTEUR DES ENFANTS NES PREMATURES SANS TROUBLE NEUROLOGIQUE	64
3.1. Résultats des comparaisons entre les groupes d'enfants nés prématurés et d'enfants nés à terme	65
3.2. Différences interindividuelles dans les groupes d'enfants	66
3.3. Implication des processus cognitifs et perceptifs	67
3.4. Implication des processus perceptivo-moteurs	68
3.5. Conclusion et perspectives	68
CHAPITRE VI. HYPOTHÈSE ET MÉTHODOLOGIE	71
1. OBJECTIF ET HYPOTHESE	71
1.1. Objectif	71
1.2. Hypothèse	71
2. METHODOLOGIE GENERALE DU PROTOCOLE	72
2.1. Méthodes de recrutement	72
2.2. Critères d'inclusion	73
2.3. Arbres d'inclusion et caractéristiques des populations	75
2.4. Déroulements temporels du protocole	78
2.5. Présentation ludique du protocole	80
2.6. Présentation générale des tests et questionnaires utilisés dans le protocole	82
2.7. Méthode générale des analyses statistiques	89
CHAPITRE VII. TÂCHE DE DISCRIMINATION PERCEPTIVE DANS LES MODALITÉS HAPTIQUE ET VISUELLE	91
1. INTRODUCTION	91
1.1. La perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les adultes	92
1.2. Développement de la perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les nouveau-nés et les nourrissons nés à terme et nés prématurés	93
1.3. Développement de la perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les enfants nés à terme et nés prématurés	97

2. OBJECTIF ET HYPOTHESES	103
3. METHODOLOGIE	105
3.1. <i>Participants</i>	105
3.2. <i>Description de la tâche de discrimination perceptive</i>	108
3.3. <i>Choix des conditions et des paires de stimuli</i>	109
3.4. <i>Procédure de la tâche de discrimination</i>	110
3.5. <i>Variables dépendantes</i>	111
4. RESULTATS	112
4.1. <i>Indices de performances à la tâche de discrimination perceptive</i>	112
4.2. <i>Temps de réponse à la tâche de discrimination perceptive</i>	117
4.3. <i>Liens entre le sexe des participants et la performance à la tâche de discrimination perceptive</i>	125
4.4. <i>Liens entre les scores aux tests standardisés de Dextérité manuelle et l'indice d'</i>	125
4.5. <i>Liens entre les performances à la tâche de discrimination perceptive et des mesures périnatales</i>	125
5. DISCUSSION DES RESULTATS	126
5.1. <i>Des performances intramodalitaires et intermodalitaires comparables chez les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme</i>	126
5.2. <i>Des performances modulées par des difficultés attentionnelles chez les enfants nés prématurés</i>	127
5.3. <i>Effet des facteurs de risque et de protection liés à la prématurité sur la perception intramodalitaire et intermodalitaire de l'enfant né prématuré</i>	129
5.4. <i>Des performances de discrimination liées aux capacités de dextérité manuelle</i> ...	129
5.6. <i>Effet du sexe et de la condition socio-économique sur les performances intramodales et intermodales</i>	130
5.4. <i>Perception haptique et visuelle et des équivalences intermodalitaires chez l'enfant de 8 ans</i>	131
6. PERSPECTIVES	132

CHAPITRE VIII. COORDINATION VISUOMANUELLE DANS UNE TÂCHE DE POURSUITE..... 134

1. INTRODUCTION	134
1.1. <i>Développement des habiletés de coordination visuomotrice</i>	134
1.2. <i>Contrôle visumoteur des nourrissons et enfants nés prématurés</i>	136
2. OBJECTIF ET HYPOTHESES	140
3. METHODOLOGIE	142
3.1. <i>Participants</i>	142
3.2. <i>Principe général et consignes</i>	145
3.3. <i>Description du matériel</i>	146
3.4. <i>Choix des paramètres généraux de la tâche</i>	147
3.5. <i>Procédure</i>	147
3.6. <i>Analyses des données</i>	149
4. RESULTATS	151
4.1. <i>Analyses des mesures de la cinématique du mouvement</i>	151
4.2. <i>Étude du lien entre la précision de la poursuite et les différentes mesures de la cinématique du mouvement</i>	155
4.3. <i>Étude du lien entre la précision de la poursuite et des variables intra-individuelles</i>	156
4.4. <i>Étude du lien entre la précision de la poursuite et les scores aux tests standardisés</i>	157

4.5. Liens entre performances à la tâche de poursuite informatisées et mesures périnatales.....	159
4.6. Analyses a posteriori des mesures de la cinématique du mouvement de trois groupes d'enfants.....	159
5. DISCUSSION.....	162
5.1. Des effets de la prématurité	162
5.2. Informations apportées par les modèles d'explication de la précision de la poursuite	164
5.3. Précision de la poursuite et facteurs de risque et de protection dans le groupe des enfants nés prématurés.....	166
6. PRECISION DE LA POURSUITE ET PERSPECTIVES CLINIQUES.....	167
CHAPITRE IX. TÂCHE D'ÉQUILIBRE STATIQUE AVEC MANIPULATION DES INFORMATIONS VISUELLES	169
1. INTRODUCTION.....	170
1.1. Généralités	170
1.2. Influence des informations visuelles sur le contrôle postural chez le nouveau-né, le nourrisson et l'enfant né à terme	173
1.3. Contrôle postural et influence des informations sensorielles chez les nourrissons et enfants nés prématurés.....	176
2. OBJECTIF ET HYPOTHESES	184
2.1. Objectif.....	184
2.2. Hypothèses	184
3. METHODOLOGIE	185
3.1. Participants.....	185
3.2. Description du dispositif et stimuli visuels.....	188
3.3. Procédure	191
3.4. Choix des différentes conditions	192
3.5. Description des variables.....	193
4. RESULTATS.....	195
4.1. Analyses des mesures dans les domaines temporel et fréquentiel	195
4.2. Analyse de la Sample Entropy.....	201
4.3. Analyses des liens entre une mesure de l'efficacité du contrôle postural et des facteurs de risque ou de protection périnataux.....	203
4.4. Analyses des liens entre une mesure de l'efficacité du contrôle postural dans la tâche d'équilibre statique et les performances aux tests standardisés	204
5. DISCUSSION.....	204
5.1. Prématurité et tests standardisés	204
5.2. Effet de la prématurité sur le développement du contrôle postural dans une tâche d'équilibre statique	205
5.3. Influence des informations visuelles sur le contrôle postural des enfants âgés de 8 ans	206
5.4. Effets des facteurs intra-individuel sur le contrôle postural.....	208
6. PERSPECTIVES	208
CHAPITRE X - DISCUSSION GÉNÉRALE.....	212
1. L'HYPOTHESE D'UN DEVELOPPEMENT DIFFERENT DES PROCESSUS PERCEPTIVO-MOTEURS CHEZ LES ENFANTS NES PREMATURES.....	212
1.1. Des différences entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme	212
1.2. Processus visuomoteurs, expériences précoces et organisation neuronale.....	213
1.3. Une limite majeure	214

2. PERSPECTIVES APPORTEES	215
2.1. <i>Vers de nouveaux tests standardisés ?</i>	215
2.2. <i>Interactions entre développement cognitif et moteur : une nouvelle piste de recherche</i>	216
BIBLIOGRAPHIE	218
LISTE DES FIGURES.....	248
LISTE DES TABLEAUX	253
LISTE DES ENCADRÉS	255
ANNEXES.....	I
ANNEXE 1 – POSTER SFP 2017	II
ANNEXE 2 – POSTER ACAPS 2017	III
ANNEXE 3 - ÉTUDE N°2 : COMPARAISON D'ENFANTS NES A TERME OU NES GRANDS PREMATURES AYANT REÇU UN DIAGNOSTIC DE TAC.....	IV
ANNEXE 4 - AUTORISATIONS OBTENUES POUR LE PROJET PREMASENS	VI
ANNEXE 5 - DOCUMENTS ADRESSES AUX PARENTS ET AUX ENFANTS: LETTRES D'INFORMATION ET CONSENTEMENTS	VII
<i>Documents adressés aux familles des deux groupes d'enfants : consentement des parents et lettre d'information des enfants</i>	VII
<i>Documents adressés aux familles des enfants nés à terme : lettre d'information des parents et consentement d'utilisation des coordonnées</i>	X
<i>Documents adressés aux familles des enfants nés prématurés : lettre d'information des parents et consentement d'utilisation des coordonnées</i>	XIII
ANNEXE 6 - CURRICULUM VITAE SCIENTIFIQUE	XVI

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La prématurité se définit par une naissance ayant lieu avant 37 semaines d'aménorrhée (SA) révolues (OMS, 2015). En 2010, elle concernait environ 15 millions de naissances dans le monde (Blencowe et al., 2012). L'augmentation de sa prévalence dans certains pays s'accompagne d'une élévation positive de la survie des nouveau-nés prématurés. La naissance prématurée est aussi clairement identifiée comme un contexte pouvant avoir des conséquences négatives sur le développement à court comme à long terme. En effet, les études longitudinales de cohorte, comme Epipage 1 et 2 en France, ont mis en évidence un lien entre la prématurité et une vulnérabilité accrue aux troubles développementaux, qu'ils soient psychologique, sensoriel, moteur, ou cognitif (Ancel, Goffinet, & EPIPAGE 2, 2014). Ces différents éléments font de la prématurité une problématique majeure de santé mondiale.

Les troubles développementaux sont liés à des trajectoires développementales atypiques (Rutter & Sroufe, 2000). Leur émergence chez les nouveau-nés, nourrissons, enfants et adultes nés prématurés dépend non seulement de certains facteurs de risque, comme l'âge gestationnel, le poids à la naissance, la présence de lésions neurologiques (Fily, Pierrat, Delporte, Breart, & Truffert, 2006; Linsell, Malouf, Morris, Kurinczuk, & Marlow, 2017; Potharst et al., 2013), mais aussi des interactions que le nouveau-né prématuré pourra mettre en place avec son environnement. En effet, la théorie de l'épigénèse probabiliste avance que le développement d'un individu est influencé par ces interactions (Gottlieb, 2003; Gottlieb, 1991). De plus, la période périnatale est décrite comme une période critique dans laquelle les interactions entre le nouveau-né et son environnement jouent un rôle clé dans le développement (Marret et al., 2015).

La prise en charge médicale parfois nécessaire lors d'une naissance prématurée, et les caractéristiques de l'environnement de soins, rendent les expériences vécues à la naissance très différentes en comparaison de celles vécues par les nouveau-nés à terme, en quantité comme en qualité, et ceci dans de multiples domaines (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). Par exemple, la naissance prématurée réduit à la fois en temps, comme en expression, une motricité qui s'exerce beaucoup plus aisément in utero et qui contribue au développement sensorimoteur (Hadders-Algra, 2000b). Dans la couveuse, le nouveau-né prématuré est également soumis à des dystimulations sensorielles, c'est-à-dire des informations sensorielles non-cohérentes en termes de caractéristiques spatio-temporelles (Johnson, 2001; Kloeckner, 2008), et ceci dans un contexte de perturbation de l'hétérochronie sensorielle, c'est-à-dire de l'ordre chronologique de la mise en route fonctionnelle des systèmes sensoriels

(Gottlieb, Tomlinson, & Radell, 1989; Lickliter, 2000b). Ces expériences sensorimotrices atypiques génèrent des expériences de couplages perception-action (Gibson, 1966) différentes de celles vécues par les nouveau-nés à terme. Or ces couplages perception-action jouent un rôle majeur dans le développement des habiletés perceptivo-motrices (Gibson, 2000).

Les études portant sur le développement moteur des enfants nés prématurés ont rapporté une prévalence plus importante de troubles perceptivo-moteurs que chez les enfants nés à terme, et ceci que des troubles ou lésions neurologiques soient concomitants (Jongmans, Mercuri, Dubowitz, & Henderson, 1998) ou non (De Rose et al., 2013). Chez les enfants nés prématurés sans trouble neurologique, des différences avec les enfants nés à terme ont été mises en évidence dans les évaluations de la motricité fine (Caravale, Tozzi, Albino, & Vicari, 2005; Liebhadt et al., 2000), mais pas dans les évaluations de la motricité globale (De Rose et al., 2013; Pietz et al., 2004).

L'hypothèse générale avancée dans ce travail est que la naissance prématurée laisserait des signatures spécifiques, liées à des expériences sensorimotrices et multisensorielles atypiques, qui se retrouveraient dans le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés, et ceci même dans le cas où ces derniers ne présentent aucun diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Le travail de recherche présenté ici propose dès lors d'étudier le devenir des processus perceptivo-moteurs chez des enfants nés prématurés âgés de 8 ans et n'ayant aucun diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Trois tâches de recherche s'appuyant sur des mesures des processus perceptivo-moteurs plus fines que celles utilisées dans les tests standardisés ont été proposées. Deux tâches ciblaient les habiletés motrices fines : une tâche de discrimination perceptive dans les modalités haptique et visuelle évaluant la perception des équivalences intermodalitaires ; et une tâche de poursuite visuomanuelle s'intéressant aux ajustements temporels visuomoteurs. Une troisième tâche d'équilibre statique, ciblant les habiletés motrices globales, permettait l'étude de l'implication des informations visuelles, proprioceptives et vestibulaires dans le contrôle postural.

Dans une première partie théorique, le premier chapitre portera sur la définition de la prématurité et de sa prévalence. Le deuxième chapitre consistera à présenter une approche non linéaire du développement qui pourrait éclairer le lien entre la naissance prématurée et ces conséquences. Le rôle des expériences sensorielles et des couplages perception-action dans le développement sera détaillé dans un troisième chapitre. Il sera suivi d'un quatrième chapitre sur la description des expériences sensorielles, motrices et sensorimotrices vécues par

Introduction générale

le nouveau-né prématuré ainsi que leur impact à court terme sur le développement perceptivo-moteur. Le dernier, et cinquième chapitre de la partie théorique, portera sur le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés. Dans une deuxième partie, le sixième chapitre détaillera l'objectif et l'hypothèse générale de ce travail de recherche, suivis de la présentation de la méthodologie générale. Ensuite, dans ce même chapitre, trois parties consécutives décriront les données de la littérature, l'objectif, l'hypothèse, les résultats et leur discussion pour chacune des tâches expérimentales proposées. Le septième et dernier chapitre sera composé de la discussion et de la conclusion générale.

PARTIE THÉORIQUE GÉNÉRALE

Chapitre I : Qu'est-ce que la prématurité ?

Ce chapitre sera consacré à la définition de la prématurité, sa prévalence et les évolutions de cette prévalence, ainsi que l'étiologie des naissances prématurées, mais aussi l'impact de la prématurité sur les taux de survie et la morbidité périnatale. Ces informations sont d'autant plus importantes qu'elles permettent d'appréhender les enjeux associés aux naissances prématurées à différentes échelles, nationale comme mondiale, et souligne dans le même temps l'intérêt des études sur le développement des enfants nés prématurés.

1. Définition de la prématurité

La durée d'une grossesse, ou âge gestationnel, est habituellement exprimée en semaines d'aménorrhée (SA) dont le point de départ chronologique est le 1^{er} jour des dernières règles de la mère. Ainsi, une naissance à terme se situe entre 38 et 41 SA, tandis qu'une naissance est prématurée si elle survient avant le début de la 38^{ème} SA (avant 37 SA révolues), soit environ avant le début du 9^{ème} mois de grossesse. Il existe quatre degrés de prématurité : la prématurité tardive entre la 34^{ème} et la 37^{ème} SA, modérée entre la 32^{ème} et la 33^{ème} SA, la grande prématurité, ou prématurité sévère, entre la 28^{ème} et la 31^{ème} SA, et enfin la prématurité extrême avant la 28^{ème} SA. Ce dernier degré est parfois divisée entre la très grande prématurité pour les naissances ayant lieu avant la 28^{ème} SA et l'extrême prématurité pour celles survenant avant la 26^{ème} SA (OMS, 2015; Vogel et al., 2018). Même si la limite de viabilité du fœtus est approximée à 22 SA, le record de la plus importante prématurité, rapportée dans le magazine New Scientist & Reuters en 2007, est de 21 semaines et 6 jours.

Ce découpage en degrés a pour objectif de guider la recherche sur les causes et les facteurs impliqués, mieux identifier les populations à risque, mettre en place des stratégies de prévention et permettre la comparaison de données locales et internationales (Vogel et al., 2018). Il s'appuie sur les taux de survie, observés en fonction de l'âge gestationnel, qui seront détaillés par la suite. La Figure 1 reprend les différents degrés de prématurité ainsi que leurs prévalences.

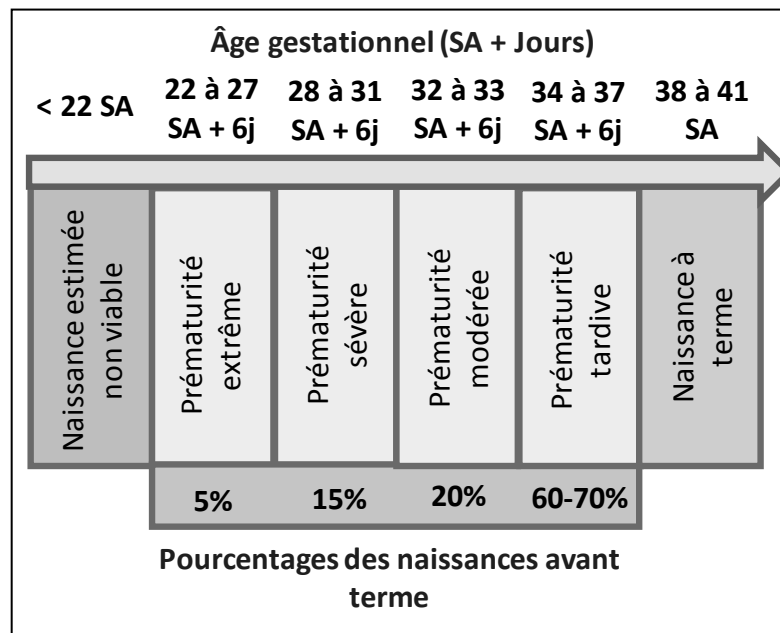


Figure 1. Les différents degrés de prématurité en fonction de l'âge gestationnel à la naissance et leurs pourcentages par rapport à l'ensemble des naissances survenues avant le terme. Données de Goldenberg, Culhane, Iams, et Romero (2008).

Par ailleurs, une autre définition importante est celle de l'âge corrigé (noté AC), terme que l'on retrouve dans les études sur le développement précoce des nouveau-nés prématurés. L'âge corrigé prend en compte la prématurité afin de pouvoir comparer les données du nouveau-né prématuré à des nouveau-nés nés à terme et ayant une maturation neurologique semblable. Pour faire cette « correction », il est enlevé à l'âge de l'enfant les semaines séparant sa naissance et le terme de naissance attendue. Par exemple, pour un individu prématuré né à 30 SA, il manque 10 semaines pour arriver à un terme de 40 SA. Ainsi, lorsque qu'il sera âgé de 2 mois et 2 semaines, son âge corrigé sera donc de 2 mois 2 semaines moins 10 semaines. Ses données neurologiques pourront alors être comparées à celles d'un nouveau-né à terme (Morierte et al., 2010). La durée de l'utilisation de cette correction varie selon les études. On retrouve, par exemple, des recommandations d'utilisation jusqu'à 3 ans (Morierte et al., 2010), mais la majorité des études l'utilisent jusqu'à 1 an (ex. Den Ouden, Rijken, Brand, Verloove-Vanhorick, & Ruys, 1991).

2. Épidémiologie

2.1. Au niveau mondial

Les recensements effectués dans le monde en partenariat avec l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) mettent en évidence un taux de 11.1% de naissances prématurés en 2010, soit environ 15 millions de naissances (Blencowe et al., 2012). Plus précisément, elles représentent 5 à 7% des naissances des pays européens, environ 12 à 13% des naissances aux Etats-Unis et jusqu'à 18% des naissances dans certains pays africains (Figure 2). Enfin, 60% des naissances prématurées mondiales ont lieu en Afrique sub-saharienne et en Asie du Sud (Blencowe et al., 2013). La comparaison des différents pays est parfois plus difficile qu'il n'y paraît car, en pratique, certains pays utilisent des définitions différentes de la prématurité (ex. seulement pour les grossesses uniques) ce qui influence les recensements locaux (Vogel et al., 2018).

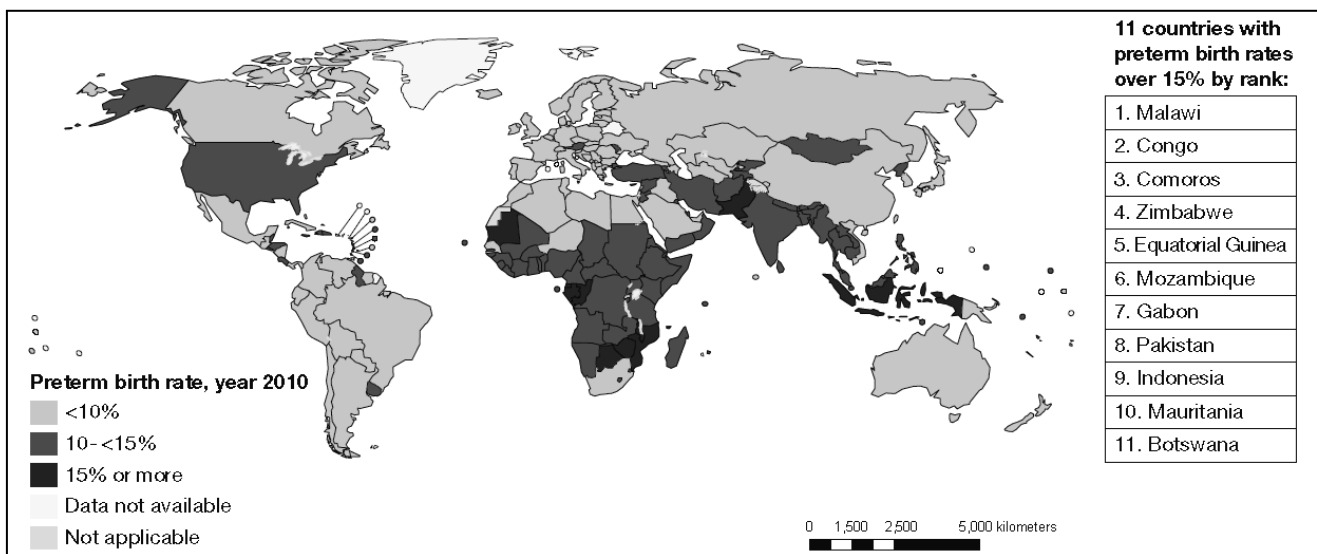


Figure 2. Estimations du taux de naissances prématurées dans le monde en 2010. Extrait de Blencowe, Cousens, Chou, et al. (2012).

En terme d'évolution mondiale, le recensement de 92 pays en 2005 mettait en évidence une prévalence mondiale des naissances prématurés de 9.6% (Beck et al., 2010), contre 11.1% recensées auprès de 99 pays en 2010 (Blencowe et al., 2012). Ainsi, Blencowe et al. (2012) rapportent que 62 pays sur 65 ont vu leur nombre de naissances prématurées augmenter entre 2000 et 2010. Cependant, cette évolution n'est pas uniforme et dépend des pays et des

périodes. En effet, une étude menée en Europe entre 1996 et 2000 a montré une augmentation significative dans 13 pays, mais aussi que le taux stagnait ou même diminuait dans 6 autres (Zeitlin et al., 2013). De plus, le taux de naissances prématurées semble principalement augmenter dans les pays à hauts revenus (Vogel et al., 2018). Enfin, cette évolution mondiale du nombre de naissance prématurées entre 2005 et 2010 de +1.5% est à contraster avec l'augmentation moyenne de +0.8% par an observée au niveau mondial entre 1990 et 2000 (Blencowe et al., 2012).

2.2. Au niveau national

Face à l'enjeu de santé mondial que représente la prématurité, des études de cohortes ont été, et sont encore, menées dans différents pays. Par exemple, les études EPIPAGE (Étude EPIdémiologique sur les Petits Ages GEStationnels) 1 et 2, respectivement lancées en France en 1997 et 2011, se penchent sur le devenir des enfants grands prématurés nés dans 9 régions différentes. Plus précisément, l'étude EPIPAGE 2 projette de suivre des enfants nés prématurés entre 22 et 34 SA jusqu'à l'âge de 12 ans. En parallèle, l'Enquête nationale périnatale de 2010 a mis en évidence un taux de 7.4% de naissances prématurées, soit environ 60000 enfants chaque année, dont 5.9% entre 32 et 36 SA, et 1.5% avant 32 SA (environ 12000 enfants) (Torchin, Ancel, Jarreau, & Goffinet, 2015).

En termes d'évolution, la France semble suivre la tendance mondiale. Par exemple, entre 1995 et 2003, le nombre de naissances prématurées est passé de 5.4 à 6.3% des naissances totales (Blondel, Supernant, Du Mazubrun, & Bréart, 2006), et entre 2003 et 2010, il est passé de 6.3 à 7.4%. Cependant, on peut aussi observer que ces variations dépendent de l'âge gestationnel des nouveau-nés lorsque l'on compare les naissances de 25 à 32 SA à Paris entre 1985 et 1986 aux naissances recensées par EPIPAGE 1 (1997) (Larroque et al., 2004). Ces évolutions sont reprises dans le Tableau 1. Les différentes causes possibles des tendances mondiales et nationales sont développées dans une partie ultérieure.

Tableau 1. Évolution du nombre de naissances prématurées en fonction de l'âge gestationnel en France entre 1995 et 2003. Données de Blondel et al. (2006).

Age gestationnel (SA)	Évolution entre 1995 et 2003
21-27	↗
28-31	↗
32-33	↗
34	=
35	↗
36	↗
37	↘

2.3. Étiologie et augmentation des naissances prématurées

Les facteurs de risques aboutissant à une naissance prématurée peuvent être obstétricaux, comme les grossesses multiples (risque 8 fois plus élevé) et le retard de croissance intra-utérin ; liés aux antécédents et à la condition médicale maternelle, comme les infections, le diabète, l'hypertension artérielle ; ou encore socio-économiques, comme l'environnement social et psychosocial (Allen, 2008; Zeitlin et al., 2013). Une naissance prématurée est donc un événement difficilement prévisible au regard de la multiplicité des facteurs en jeu et de leurs interactions. De plus, la méta-analyse de Ferrero et al. (2016), menée sur 5 pays à hauts revenus, montre que 65% des naissances prématurées ne sont associées à aucun des 21 facteurs de risque préalablement identifiés (ex. âge maternel, stress, reproduction médicalement assistée, ethnicité, consommation de drogues, hypertension, indice de masse corporel maternelle, ...). En conclusion, l'étiologie des naissances prématurée est encore loin d'être complètement comprise. Concernant la survenue en elle-même de la naissance prématurée, 30 à 35% des naissances prématurée sont dites « provoquées » par le corps médical qui intervient suite à la dégradation de l'état de santé du fœtus ou de la mère (ex. infection). 40 à 45% résultent d'un travail spontané et 25 à 30% surviennent après une rupture précoce des membranes (Goldenberg et al., 2008). Ces proportions varient selon les pays et les régions (Vogel et al., 2018).

Par ailleurs, les études épidémiologiques au niveau mondial et national ont mis en évidence une augmentation en quelques dizaines d'années du nombre de naissances prématurées, mais aussi du nombre de nouveau-nés qui y survivent (Marret et al., 2015), et ceci suite aux progrès apportés aux pratiques médicales, comme l'organisation et l'accès aux services, les

traitements anténataux, l'amélioration des soins en service de néonatalogie, la mise en place de soins de développement, ou encore le dépistage et la prise en charge précoce des complications. En parallèle, il a été relevé une augmentation de la prématurité induite (ex. augmentation de 50% aux Etats-Unis entre 1989 et 2000), ainsi qu'une amélioration des enregistrements des naissances. L'augmentation du nombre de grossesses multiples a aussi été évoqué comme un facteur possiblement impliqué dans l'augmentation du nombre de naissances prématurées (Torchin et al., 2015). Enfin, différents facteurs environnementaux, comme l'augmentation de l'âge maternel, sont aussi à prendre en compte (Larroque et al., 2004; Torchin et al., 2015).

3. Conséquences de la prématurité sur la survie et la morbidité périnatale

3.1. Survie en service de Néonatalogie

Malgré l'ensemble des progrès effectués depuis ces trente dernières années en néonatalogie, la naissance prématurée, et surtout la très grande prématurité, reste une cause majeure de mortalité néonatale. Ainsi environ 64 à 75% des mortalités infantiles sont causées par une situation de prématurité (Allen, 2008) et on retrouve un taux de mortalité hospitalière de 15% chez les grands prématurés (Ancel, Goffinet, & EPIPAGE 2, 2014). Comme il a été présenté précédemment, la définition des degrés de prématurité en fonction de l'âge gestationnel dépend de la survie des nouveau-nés. En France en 2011, on peut observer sur la Figure 3 que les taux de survie augmentent logiquement avec l'augmentation de l'âge gestationnel (ex. 31.2% à 24 SA, 98.9% de 32 à 34 SA) (Ancel et al., 2015). Le taux de survie est classiquement défini comme le pourcentage d'enfants sortant vivants du service de Néonatalogie par rapport au total des naissances vivantes (Torchin et al., 2015). Lorsque l'on observe les tendances en France entre 1997 et 2011 parmi les enfants nés vivants de 22 à 23 SA, et ceci dans les 9 régions étudiées en 1997, aucun n'a survécu pour les deux périodes, et la chance de survie à 24 SA n'a pas changé. Cependant, comme on peut le remarquer sur la Figure 3, l'amélioration de la survie concerne les enfants nés de 25 à 31 SA (ex. +12,8% à 27 SA) (Ancel et al., 2015).

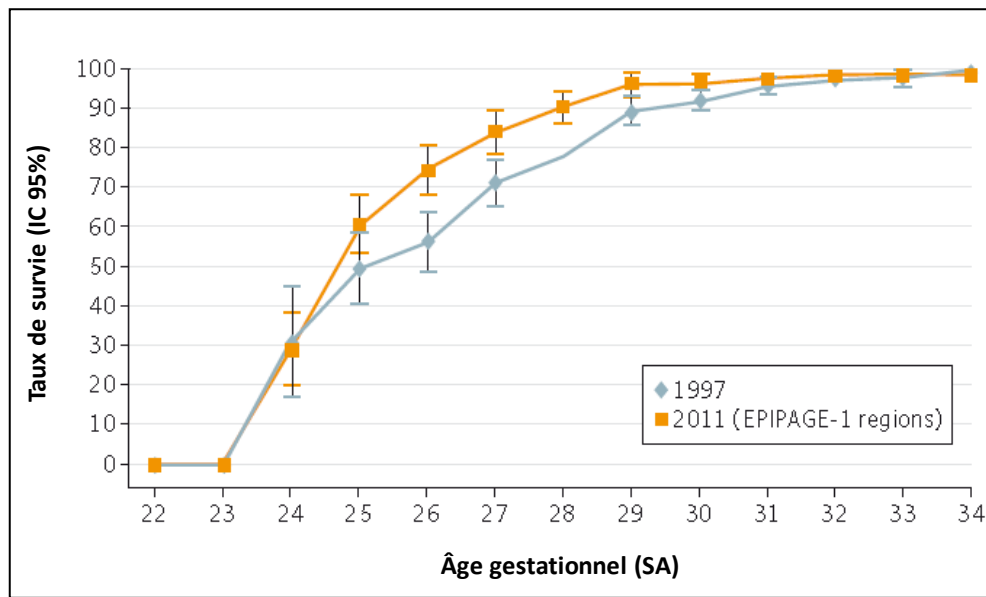


Figure 3. Graphique représentant les taux de survie en fonction de l'âge gestationnel avec les intervalles de confiance à 95% pour les études EPIPAGE 1 et 2. Extrait de Ancel et al. (2015).

3.2. Morbidité néonatale

Malgré l'augmentation du taux de survie en sortie des services de néonatalogie, la morbidité néonatale reste importante, soulevant la question des pronostics à moyen comme à long terme. En effet, les nouveau-nés prématurés nés vivants peuvent faire face à différentes complications lors de leur hospitalisation : respiratoires (ex. dysplasie broncho-pulmonaire), digestives (ex. perforation digestive précoce), ophtalmiques (ex. rétinopathie), neurologiques (ex. hémorragie intraventriculaire), ou encore infectieuses.

Les risques de ces complications augmentent et varient selon l'âge gestationnel. Ainsi, les nouveau-nés extrêmement prématurés auront surtout des complications respiratoires et cérébrales avec une prévalence pour ces dernières allant de 20 à 40% pour ceux nés à 22-23 SA, et de 5 à 15% pour ceux nés à 26 SA. Après 28 SA, le risque de ces complications cérébrales diminue et concerne, par exemple pour l'hémorragie intraventriculaire, 4 à 5% des 28-29 SA, 2 à 3% des 30-31 SA, et moins de 1% des 32-35 SA. Après 34 SA, toutes les complications sont plus rares même si on retrouve toujours des atteintes respiratoires les premiers jours suivant la naissance, ainsi que des troubles métaboliques (ex. hypoglycémie) (Torchin et al., 2015).

Les taux de survie sans morbidité néonatale sévère, recensés en fonction de l'âge gestationnel sur la Figure 4, renvoient à des observations similaires. Ainsi, le taux de survie

sans morbidité néonatale augmente avec l'âge gestationnel, et l'écart entre les individus vivants à la naissance et les individus survivants à la sortie de leur prise en charge médicale périnatale diminue aussi avec l'augmentation de l'âge gestationnel. Enfin, en terme d'évolution générale entre 1997 et 2011, les taux de survie sans morbidité néonatale sévère ont augmenté pour les enfants nés entre 25 et 31 SA, mais sont restés stables pour ceux nés avant 25 SA (Ancel et al., 2015).

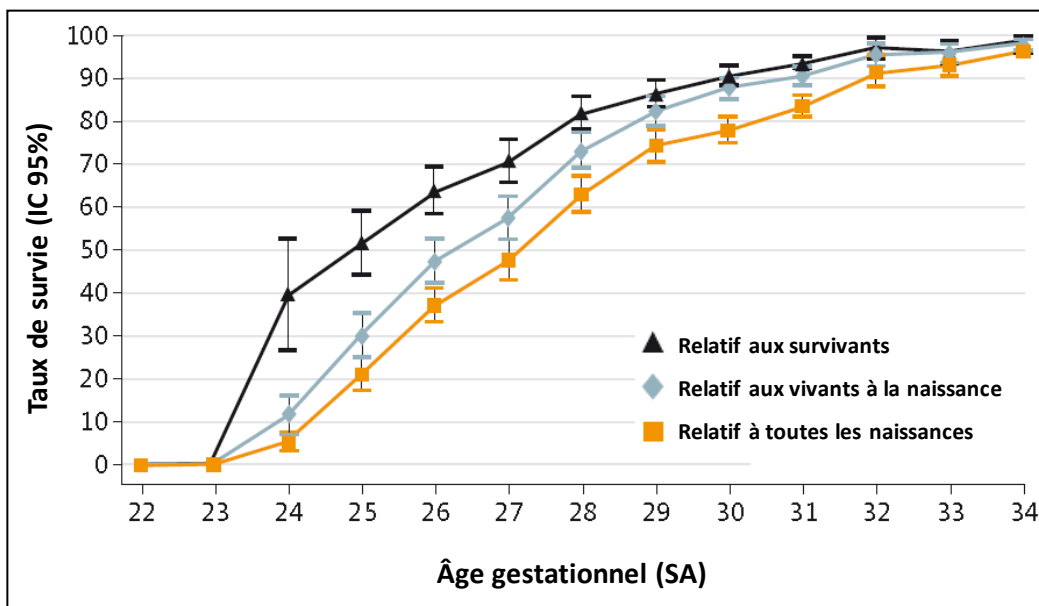


Figure 4. Graphique représentant le taux de survie sans morbidité néonatale sévère en 2011 en fonction du type de naissance. Extrait de Ancel et al. (2015).

Encadré 1 – Informations clés du Chapitre I

La prématurité, définie par une naissance ayant lieu avant la fin de la 37^{ème} SA, est un enjeu important de santé à toutes les échelles, nationale comme mondiale. En effet, la naissance prématurée impacte significativement la survie des nouveau-nés. Et, lorsque ces derniers survivent, la prématurité augmente les risques de morbidité néonatale. Les études épidémiologiques mettent en avant une croissance du nombre de naissances prématurées, ainsi qu'une augmentation du nombre de nouveau-nés qui y survivent, soulignant ainsi cet enjeu de santé publique. Ces données encouragent donc fortement la poursuite des recherches sur le développement de l'individu né prématuré dans un intérêt autant national que mondial.

Chapitre II – Une approche non linéaire du développement

Les enfants nés prématurés présentent des profils développementaux très divers au sein desquels on observe, plus fréquemment que pour les enfants nés à terme, des troubles neurodéveloppementaux multiples et variés. L'ensemble des approches théoriques évoquées par la suite permettront d'appréhender le lien entre la prématurité et l'émergence de ces troubles. Ainsi, une première partie présentera des approches non linéaires du développement, dans lesquelles les trajectoires développementales peuvent aboutir ou non à des pathologies. Ces approches non linéaires paraissent en effet particulièrement adaptées à l'étude du développement de ces dernières. Une deuxième partie sera consacrée à la place des interactions entre l'individu et son environnement au sein du développement, et plus spécifiquement à celle des couplages perception-action.

1. Les approches épigénétiques

Le concept d'épigénèse peut être défini comme l'émergence de nouvelles structures, fonctions et propriétés de l'organisme se développant au travers des expériences vécues par ce dernier. L'expérience joue potentiellement quatre rôles distincts : le maintien des fonctions présentes, la facilitation d'autres fonctions par le changement des seuils de réponse, l'induction de la mise en place d'une fonction, et la canalisation du développement dans une certaine direction (Gottlieb & Tucker Halpern, 2002). Les travaux portant sur la génétique cellulaire de Conrad Waddington (1942) ont mis en avant l'existence de processus épigénétiques liés à l'environnement, influençant l'expression génétique, et par conséquent le devenir des cellules. Waddington avait alors proposé une métaphore (Figure 5) des devenir possibles d'une cellule, le « Classical Epigenetic Landscape », représentés par différents chemins que pourrait effectuer une balle.

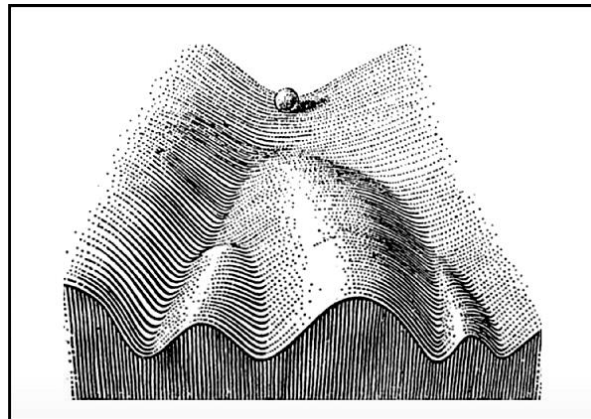


Figure 5. « Classical Epigenetic Landscape » de Waddington (1942). La balle, représentant la cellule, se déplace vers l'un de ses devenir possibles (bas de l'image) sous l'influence de l'environnement via des processus épigénétiques. Extrait de Goldberg, Allis, et Bernstein (2007).

Toutefois, dans le modèle de Waddington (Gottlieb, 1991), la diversité de ces trajectoires reste prédéterminée par l'expression génétique. Le critère prévisible de ces trajectoires renvoie ainsi à une épigénèse dite prédéterminée. Cette épigénèse prédéterminée contraste avec l'épigénèse probabiliste (Gottlieb, 1991). L'épigénèse probabiliste, défendue par Gottlieb (2003) avance que le développement individuel n'est pas prévisible et découle des interactions entre quatre niveaux pouvant s'influencer mutuellement, l'environnement, le comportement, l'activité neuronale et l'activité génétique (Figure 6). A ces quatre niveaux s'ajoute une dimension temporelle indissociable au développement. Le développement de l'individu est, dès lors, à la fois un processus et un produit (Gottlieb, 1991).

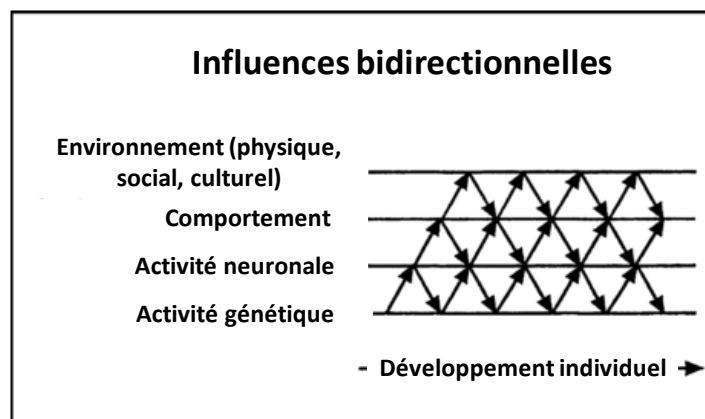


Figure 6. Schéma reprenant les interactions entre les différents niveaux se déroulant au cours du développement individuel. Extrait de Gottlieb (1991).

2. Du développement typique au développement atypique : trajectoires développementales déviées et émergence de la pathologie

Pour comprendre au mieux le développement des individus, la position théorique précédente peut être intégrée à une approche life-span (Rutter, 1989). Ainsi, tout au long de sa vie, le développement de l'individu sera constitué de continuités et de discontinuités qui seront influencées par des interactions entre l'organisme et son environnement (Rutter, 1989). Au regard de la variabilité des interactions impliquées, le développement peut être représenté sous la forme de trajectoires développementales résultantes multidéterminées, et donc potentiellement multiples et complexes. Le concept de trajectoire développementale est aussi utilisé dans les approches cherchant à comprendre l'émergence des pathologies. En adéquation avec la théorie de l'épigénèse probabiliste (Gottlieb, 2003), la psychopathologie développementale (Cicchetti & Rogosch, 1996) défend que les trajectoires développementales sont déterminées par les caractéristiques biologiques de l'individu, les caractéristiques de son environnement, ainsi que les interactions entre l'individu et son environnement (Rutter & Sroufe, 2000).

Dans ce cadre théorique, la pathologie est définie comme le résultat de trajectoires développementales déviées suite à des inadaptations de l'individu dans les interactions vécues avec son environnement (Sroufe, 1997). Comme l'organisme et son environnement sont en interaction permanente, la pathologie peut dès lors être considérée comme le résultat d'échecs répétés des processus d'adaptation de l'individu à son environnement (Sroufe, 1997). La pathologie est non pas considérée comme un état fixe à un temps donné du développement, mais bien un état qui prend en compte l'ensemble du déroulement passé du développement jusqu'à ce point (Cicchetti & Rogosch, 1996). Lorsque l'individu ne présente pas de pathologie à un temps donné, les trajectoires de développement ont abouti à un profil défini comme typique. Lorsque l'individu présente une pathologie à un temps donné, les trajectoires de développement ont abouti à un profil défini comme atypique (Wenar & Kerig, 2011).

Par ailleurs, l'équifinalité rend possible l'émergence d'une même pathologie pour des trajectoires développementales différentes. En effet, le concept d'équifinalité correspond au fait que des organismes qui ont des conditions initiales, ou précoces, différentes peuvent atteindre le même point final, et que les organismes qui partagent la même condition initiale peuvent atteindre le même point final par des trajectoires différentes (Gottlieb, 2003; Gottlieb, 2001). L'inverse est aussi possible, soit que différentes pathologies peuvent émerger de

trajectoires développementales initiales semblables (Sroufe, 1997). Il est aussi important de noter que les changements dans ces trajectoires peuvent se dérouler à n'importe quel moment au cours du développement de l'individu (Sroufe, 1997). L'approche développementale constructive (Kuniyoshi, 2016), propose même que les aller-retour entre les profils atypiques et typiques sont bidirectionnels et peuvent être multiples au cours du développement. La Figure 7 est une illustration de ce postulat et décrit l'évolution de différentes trajectoires développementales.

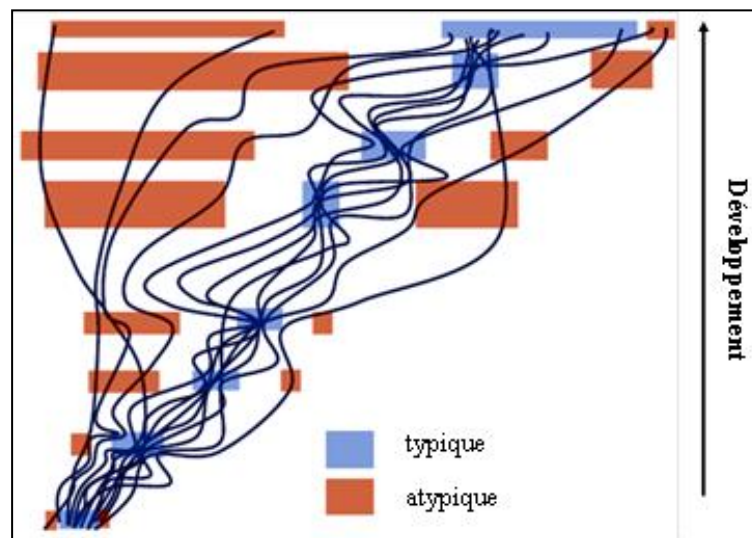


Figure 7. Trajectoires développementales présentées sous la forme de lignes courbes passant par des profils typiques et atypiques au cours du développement. Extrait de Kuniyoshi (2016).

L'émergence ou non de la pathologie dépend aussi de l'existence de combinaisons de facteurs appelés facteurs de risque et facteurs de protection (Sroufe, 1997). Les facteurs de risque correspondent à une condition ou un événement augmentant la probabilité d'émergence d'une psychopathologie chez tous les enfants exposés (ex. lésion neurologique, nutrition inadéquate). Tandis que les facteurs de protection (ex. intelligence et caractéristiques personnelles, liens d'affection) diminuent la probabilité d'émergence d'une psychopathologie en réduisant l'exposition au risque et l'impact de la réaction négative (Wenar & Kerig, 2011). La multiplicité des interactions au sein et entre les différents niveaux du système, ainsi que la multiplicité des facteurs impliqués, rendent difficile d'accès les causes spécifiques associées au développement d'une pathologie. Dès lors, une pathologie sera très souvent multidéterminée et aura donc de multiples causes. Pour ajouter un niveau de complexité supplémentaire, la psychopathologie développementale avance aussi l'existence d'un

continuum entre les profils typique et atypique (Wenar & Kerig, 2011). Une méthode possible d'identification des facteurs impliqués, ainsi que leurs interactions, consiste en des études longitudinales de cohortes importantes permettant d'explorer les devenirs normaux et pathologiques dans le temps et d'examiner des hypothèses de relations causales en recoupant les nombreuses données biologiques, psychologiques, comportementales, spatiales et contextuelles (Gottlieb & Tucker Halpern, 2002).

D'après la théorie de l'épigénèse probabiliste (Gottlieb, 2003), le nouveau-né prématuré peut être assimilé à un système ouvert et complexe au sein duquel les interactions entre l'individu et son environnement jouent un rôle majeur (Jouen & Molina, 2007). Ainsi, ces interactions participent à l'établissement de trajectoires développementales déviées associées à l'émergence de troubles développementaux. Dans ce contexte, les couplages perception-action ont un rôle essentiel. C'est précisément ces couplages qui seront présentés dans la partie suivante.

3. Couplages perception-action dans les interactions entre l'individu et son environnement

La notion de couplage perception-action renvoie à l'approche écologique défendue par J.J. Gibson (1979). Dans cette approche, le comportement d'un organisme est contrôlé par des cycles perception-action, la perception et l'action étant indissociable. Dans ces cycles, les actions permettent de percevoir de manière active et prospective, c'est-à-dire orientée vers le futur (Von Hofsten, 1993), les flux de stimulations sensorielles (Wagman & Miller, 2003) disponibles dans différentes modalités sensorielles (visuelle, auditive, vestibulaire, ...) (Bullinger, 2015a). Ces flux sensoriels contiennent des informations directement exploitables, c'est-à-dire sans nécessité de reconstruction ou d'enrichissement à partir de bases de connaissances. Ces boucles continues entre perception et action facilitent ainsi le contrôle des mouvements, et rendent les interactions entre l'organisme et l'environnement les plus adaptées et optimales possibles (Gibson, 1966; Luyat & Regia-Corte, 2009).

Une large littérature sur les processus perceptifs démontre que des informations reçues dans différentes modalités sensorielles peuvent être perçues simultanément, facilitant ainsi les interactions avec l'environnement (Bremner, Lewkowicz, & Spence, 2012). D'après Stoffregen et Bardy (2001), la perception d'informations multisensorielles est directe, c'est-à-

dire qu'elle ne nécessite pas de traitement cognitif spécifique, et s'appuie sur l'existence d'un flux global. Ce flux global, constitué de structures spatio-temporelles, est créé grâce aux caractéristiques redondantes des informations sensorielles. De la même manière que les flux sensoriels unimodaux, il sera influencé par toute modification de l'environnement et toute action de l'organisme. Ainsi, les zones cérébrales activées lors de cette perception (e.g. neurones des Colliculi supérieurs chez le chat ; Meredith, Nemitz, & Stein, 1987) peuvent être conçues comme des zones de réception des informations extraites du flux global (Stoffregen & Bardy, 2001), ou comme des zones d'intégration des informations sensorielles unimodales (e.g. Peterka, 2002; Wallace, Ghose, Nidiffer, Fister, & Fister, 2012). Dans le cadre de l'approche écologique gibsonienne, l'étude des couplages perception-action impliquant des habiletés de perception d'informations multisensorielles peut dès lors s'appuyer sur l'étude des comportements moteurs sans nécessiter d'études cognitives ou cérébrales spécifiques.

Encadré 2 – Informations clés du Chapitre II

La théorie de l'épigénèse probabiliste soutient que le développement d'un organisme dépend des interactions existant entre l'environnement, le comportement, l'activité neuronale et l'activité génétique. Cette approche est complétée par la notion essentielle de trajectoire développementale qui souligne le caractère non linéaire du développement d'un individu au cours de sa vie. Ces trajectoires développementales peuvent aboutir dans certains cas à l'émergence de profils pathologiques. L'apparition de ces trajectoires dites déviées est associée à des facteurs de risque et de protection, mais dépend aussi des interactions entre l'organisme et son environnement. Ces interactions impliquent des couplages perception-action, eux-mêmes associés à la perception d'informations multisensorielles. Par conséquent, l'étude de ces couplages apparaît comme un bon moyen pour comprendre le développement des individus, et donc, des enfants nés prématurés.

Chapitre III – La période périnatale : rôle clé des expériences sensorielles et des couplages entre action et perception

Comme il a été vu précédemment, le développement est un processus non linéaire dépendant des interactions entre l'environnement et un système ouvert et complexe. Dans cette partie sera détaillée l'influence de ces interactions lors de la période périnatale, période très sensible aux expériences. Une première partie présentera la notion de période critique durant laquelle les interactions entre l'individu et son environnement jouent un rôle majeur dans le développement. Dans une deuxième partie, seront détaillées la mise en place des systèmes sensoriels, ainsi que l'implication des expériences sensorielles précoces dans le développement des habiletés perceptives, de manière générale, puis mise en évidence par des expériences sensorielles précoces atypiques. Dans une troisième et dernière partie, seront évoquées les conséquences d'expériences sensorimotrices précoces atypiques sur le développement, et plus spécifiquement sur le développement des habiletés motrices, clé de voute des interactions entre l'organisme et son environnement.

1. La période périnatale : une période critique

1.1. Notion de période critique

Dans les approches du développement présentées précédemment, les interactions entre l'individu et son environnement font partie intégrante des éléments modulant le devenir développemental. Cependant, l'ampleur de l'impact de ces interactions varie selon des périodes bien spécifiques. Le concept de "période critique" illustre l'idée qu'à certains moments dans son développement un individu sera plus réceptif ou vulnérable à l'influence de l'environnement qu'à d'autres. Ce concept, critiquable si l'on considère que les interactions entre l'individu et son environnement jouent un rôle majeur tout au long du développement (Wagman & Miller, 2003), dérive de l'embryologie du 19^{ème} siècle quand les chercheurs ont découvert que les trajectoires développementales de certaines structures anatomiques peuvent être facilement altérées par des manipulations environnementales à certains stades mais pas à d'autres.

Pendant ces intervalles de temps, le système nerveux en développement doit nécessairement expérimenter certains contextes et percevoir divers stimuli, sensoriel et moteur, afin de parvenir correctement à maturation. De telles périodes sont caractérisées par un taux d'apprentissage élevé ainsi que des conséquences durables pour la connectivité neuronale (Castellani & Delloye, 2013; Michel, 2001). Par ailleurs, cette plasticité cérébrale expérience-dépendante n'exclue pas le rôle majeur de l'activité électrique spontanée qui est présente de manière prénatale (Berardi, Pizzorusso, & Maffei, 2000).

1.2. Expérimentations autour des périodes critiques

Cette plasticité cérébrale expérience-dépendante a été clairement démontrée pour les systèmes visuel, somatosensoriel et auditif (Berardi et al., 2000; Michel, 2001). Cependant, la temporalité des périodes critiques varie selon l'espèce considérée (Berardi et al., 2000). Des études classiques ont montré des effets de la privation sensorielle et de l'altération des entrées sensorielles (ex. strabisme, environnement auditif restrictif), ces effets étant uniquement observés lorsque les manipulations sensorielles survenaient durant une période critique. Par ailleurs, certains aspects de l'organisation corticale restent modifiables par l'expérience chez l'adulte : c'est le cas des cartes de fréquence du cortex auditif et de la carte somatotopique dans le cortex somatosensoriel (Berardi et al., 2000).

1.3. Développement neurologique du troisième trimestre de gestation

Le troisième trimestre de gestation est une période très sensible du développement et elle est donc considérée comme une période critique, notamment pour le développement cérébral (Marret et al., 2015). Les dernières semaines de la gestation sont caractérisées par une migration importante des neurones et cellules gliales dans le cadre d'une première organisation structurale (Kostović, Petanjek, Delalle, & Judaš, 1992; Marret et al., 2015). Par exemple, entre 24 et 32 SA, les afférences thalamocorticales entrent dans le cortex (Volpe, 2009). Pendant ces dernières semaines se mettent ainsi en place des connexions longues et courtes entre les régions cérébrales aboutissant à des réseaux neuronaux précoces. On peut alors observer une importante synaptogénèse dans laquelle sont impliqués des processus de surproduction et d'élimination des connexions neuronales. Ces derniers sont essentiels pour

maintenir la plasticité des réseaux fonctionnels et pour supprimer les circuits redondants ou aberrants (Kostović et al., 1992).

Enfin, un autre processus important est celui de la myélinisation. Il constitue la dernière étape de maturation de la substance blanche et consiste en la formation d'une gaine de myéline qui s'enroule autour des axones et qui accélère considérablement la conduction de l'influx nerveux. La myélinisation se déroule dans le cerveau humain durant la deuxième partie de la grossesse jusqu'à la fin de l'adolescence avec un pic durant la première année post-natale. Avant 36 SA, la substance blanche non myélinisée est majoritaire et un pic de myélinisation est observé entre 35 et 41 SA (Dubois et al., 2014; Leroy, 2011).

2. Développement perceptif précoce et expériences multisensorielles

Dans cette partie, le développement des fonctions sensorielles, ainsi que les caractéristiques et l'importance des expériences multisensorielles précoces seront détaillées. Les caractéristiques des expériences sensorimotrices précoces et leur influence sur le développement seront présentées dans une autre partie.

2.1. Développement des fonctions sensorielles

Pour agir de manière adaptée, l'organisme doit être en capacité de recevoir et traiter les informations sensorielles issues des interactions avec son environnement. La majorité des modalités sensorielles des vertébrés (oiseaux, mammifères), à l'exception de la vision, deviennent fonctionnelles durant le développement prénatal dans une séquence invariante inscrite dans le développement ontogénétique : tactile, vestibulaire, chimique, auditif, visuel (Gottlieb, 1971; Gottlieb, Tomlinson, & Radell, 1989). Cette séquence a été démontrée chez de nombreuses espèces (Gottlieb et al., 1989).

Le Tableau 2 reprend le développement anatomique et fonctionnel de l'ensemble des systèmes sensoriels. Ainsi, suivant cet ordre, le toucher est développé en premier et regroupe la sensibilité somato-viscérale (pression, vibration, température, douleur) et la sensibilité profonde, c'est-à-dire la proprioception (récepteurs musculaire, tendineux et articulaire) et la douleur. La vision sera le dernier système sensoriel mature. En effet, la myélinisation du nerf visuel ne commence que vers la 32^{ème} semaine de gestation et la mise en place fonctionnelle

de ce système sensoriel nécessite des entrées visuelles fournis par l'environnement extra-utérin (De Broca, 2012).

Tableau 2. Émergence anatomique et fonctionnelle des systèmes sensorielles durant la gestation et la période périnatale. Données de Bremner, Lewkowicz, et Spence (2012) et Lecanuet, Granier-Deferre, et Schaal (1993).

Canal sensoriel	Développement anatomique	Développement fonctionnel
Toucher	4-7 semaines	7-20 semaines
Chimiosensation	4-13 semaines	A partir de 7 semaines
Système vestibulaire	10-16 semaines	11-25 semaines
Système auditif	9-20 semaines	21-24 semaines
Système visuel	5-28 semaines	22 semaines à 3/4 mois postnataux

Le caractère séquentiel de cette mise en fonctionnalité des différents sens a mené à l'élaboration de la théorie de l'hétérochronie sensorielle soutenue par Turkewitz et Kenny (1982). Ainsi, d'après Turkewitz et Kenny (1982), l'émergence successive de la fonctionnalité des sens sert à réguler et à contraindre la nature et la quantité d'entrées sensorielles durant le développement prénatal. En d'autres termes, cette séquentialité permet de réguler le timing, le type et la quantité de stimuli sensoriels disponibles durant la période prénatale (Lickliter, 2000b). L'hétérochronie sensorielle rend ainsi possible le développement fonctionnel de chaque modalité en limitant la compétition au sein et entre les systèmes sensoriels (Turkewitz & Mellon, 1989; Turkewitz & Kenny, 1982). Dans le même temps, cette absence de compétition limite les demandes attentionnelles (Lewkowicz, 2012; Lickliter, 2000b). Enfin, l'hétérochronie sensorielle est une source majeure de l'organisation perceptive précoce (Lickliter, 1990). Par exemple, les nourrissons s'orientent plus facilement, portent plus facilement attention, et organisent plus leurs réponses comportementales sur la base des informations auditives que sur celles des informations visuelles, le système auditif étant fonctionnel avant le système visuel (Lickliter, 2000b, 2000a).

2.2. Expériences multisensorielles périnatales

2.2.1. Un environnement fœtal multisensoriel modifié à la naissance

Même si les modalités sensorielles ne sont pas toutes fonctionnelles en même temps, le fœtus humain expérimente de nombreuses stimulations multimodales à travers les systèmes auditif, vestibulaire et tactile. Par exemple, lorsque la mère se déplace, les sons de ses pas sont coordonnés avec un feedback tactile, un changement de pression, et des stimulations vestibulaires. De plus, les sons de la voix de la mère, son rythme cardiaque, et les bruits de sa respiration induisent des stimulations auditives qui partagent un même pattern temporel (Lickliter, 2011). Enfin, on peut observer chez le fœtus une activité motrice spontanée des membres et du corps, provenant de stimulations cycliquement organisées dans le temps. Ainsi, quand le fœtus bouge dans l'utérus, les mouvements génèrent un feedback proprioceptif temporellement coordonné à des informations tactiles et vestibulaires. Le fœtus a donc déjà des opportunités de se familiariser avec, et de détecter, les stimulations redondantes et les relations intermodales parmi les différentes modalités sensorielles durant les derniers stades du développement prénatal (Lickliter, 2011). Ainsi, l'environnement prénatal du troisième trimestre est riche en stimulations multisensorielles interne, externe et auto-générées (Lewkowicz, 2000).

A la naissance, les systèmes sensoriels du nouveau-né sont fonctionnels, et ceci grâce à la mise en place précoce et séquentielle décrite précédemment (Lecanuet et al., 1993; Lecanuet & Schaal, 1996). Ainsi, les travaux électrophysiologiques et histochimiques sont en faveur de l'absence de rupture de continuité dans le traitement central des informations sensorielles (Lecanuet et al., 1993). Cependant, l'introduction de la modalité visuelle, les nouvelles contraintes gravitaires, ainsi que l'enrichissement et la complexification des stimulations multisensorielles, apportent de nouvelles expériences que les réseaux cérébraux sous-jacents à l'organisation perceptive doivent prendre en compte (Lickliter & Bahrick, 2000).

2.2.2. Développement précoce de la perception multisensorielle

Comme il a été détaillé précédemment, les systèmes sensoriels du fœtus sont assez fonctionnels pour traiter certaines informations sensorielles de son environnement, préparant ainsi les réseaux de neurones aux stimuli sensoriels et multisensoriels qui seront perçus dans

la période postnatale (Lecanuet & Schaal, 1996). Dès lors, de nombreuses recherches réalisées chez le nouveau-né et le nourrisson ont révélé des habiletés de perception multimodales (Bremner et al., 2012; Jouen & Molina, 2000). De plus, les études développementales chez les animaux, s'intéressant à l'émergence des neurones multisensoriels des Colliculi supérieurs, ont mis en évidence que la capacité de ces neurones à intégrer les informations sensorielles dépendait du développement des interactions corticales mais aussi des expériences postnatales (Barutchu, Crewther, & Crewther, 2009). Par conséquent, les expériences sensorielles contribuent à l'émergence des réponses multisensorielles et à la sélectivité de ces réponses, ainsi qu'à la formation d'une expertise perceptuelle multisensorielle. Par ailleurs, le rôle majeur des expériences sensorielles dans la mise en place de cette expertise met en exergue l'existence de périodes sensibles précoces pour la plasticité multisensorielle, en cohérence avec la notion de période critique (Lewkowicz, 2012; Wallace et al., 2012).

2.3. Perturbation des expériences sensorielles précoces

Même si elles restent peu comprises, les altérations des patterns typiques des stimulations sensorielles précoces peuvent aussi avoir des effets significatifs sur le développement perceptif et comportemental sur le court et le long terme (Gottlieb et al., 2007; Lickliter, 2000b; Lickliter & Bahrick, 2000).

2.3.1. Des expérimentations portant sur des stimulations sensorielles précoces atypiques

Dans le contexte d'une naissance prématurée, le nouveau-né est confronté à des expériences sensorielles précoces atypiques qui seront détaillées dans une partie ultérieure du manuscrit (Chapitre IV.1.). Les études présentées dans cette partie chercheront à éclairer les conséquences de ces expériences sur le développement. Les recherches sur le développement sensoriel et multisensoriel indiquent que modifier les expériences sensorielles délivrées pendant la période prénatale peut avoir des effets aussi bien sur la perception unimodale et multimodale postnatale, que sur la trajectoire développementale de la croissance et du développement cérébral (Lickliter, 2011; Lickliter & Bahrick, 2000). Les liens entre les patterns de stimulations périnatales et le devenir développemental deviennent ainsi

nécessairement un enjeu des études du développement (Lickliter & Bahrick, 2000) et leur étude pourrait contribuer à la compréhension des conséquences de la prématurité.

Par exemple, des recherches menées chez des enfants aveugles ou sourds apportent des informations importantes concernant les influences bidirectionnelles des systèmes perceptifs et comment le fonctionnement multisensoriel typique est obtenu durant le développement (Lickliter & Bahrick, 2000). Par exemple, Quittner, Smith, Osberger, Mitchell, et Katz (1994) ont examiné le rôle des expériences auditives sur le développement de l'attention visuelle chez des enfants sourds qui ont ou non reçu un implant cochléaire. Les enfants sourds sans implant avaient des performances plus faibles dans les tâches d'attention visuelle que leurs pairs avec implant. Les auteurs en ont donc déduit que les expériences auditives pouvaient influencer le développement de l'attention visuelle. D'autres études, comme celle de Putzar, Goerendt, Lange, Rösler, et Röder (2007), ont montré que les adultes humains privés d'expériences visuelles pendant les 5 à 24 premiers mois suivant la naissance, pour cause de cataractes congénitales, avaient des interactions audio-visuelles moins efficaces. Dans cette étude, les capacités multisensorielles n'étaient pas complètement récupérées à l'âge adulte, même après 14 années d'expériences visuelles, soulignant ainsi l'importance des expériences visuelles précoces (Lickliter, 2011).

2.3.2. Des modifications dans les stimulations sensorielles périnatales : timing, quantité et co-occurrence

Les recherches ont montré que les capacités de discrimination perceptive, l'émergence des patterns des réponses perceptives et d'apprentissage perceptif des nourrissons sont influencés par le timing, la quantité et les types spécifiques des stimulations sensorielles vécues pendant les périodes prénatal et postnatal (Lickliter, 2000a, 2000b). Ces observations sont faites par le biais de modifications employant des privations ou des sur-stimulations sensorielles, à la fois en prénatal et en postnatal, et ceci chez l'animal dans des études comparatives, ou chez l'homme (Gottlieb et al., 2007). Par ailleurs, les manipulations des expériences dans lesquelles les stimulations sensorielles sont augmentées ou atténuées dans une modalité mènent souvent à des effets complexes sur le développement de la perception dans les autres modalités sensorielles et sur le développement du fonctionnement multisensorielle (Lickliter & Bahrick, 2000). Par conséquent, les paradigmes des recherches comparatives sur le rôle des expériences sensorielles périnatales ; impliquant l'apport d'entrées sensorielles dans une

modalité sensorielle à un moment atypique (ex : expérience visuelle plus précoces) ou en quantité atypique (ex : augmenter les stimulations vestibulaire ou auditive) ; changent l'histoire des expériences sensorielles de cette modalité, ainsi que la réponse des autres systèmes sensoriels émergents (Lickliter, 2000b).

2.3.2.1. Temporalité et quantité des stimulations sensorielles

Concernant une exposition plus précoce à certaines stimulations sensorielles, la revue de littérature de Lickliter et Bahrick (2000) a mis en évidence qu'une exposition précoce à des patterns lumineux pouvait altérer les réponses résultantes du système visuel et des systèmes auditif et olfactif. Par exemple, des embryons de poulets vivant des expériences visuelles inhabituellement plus précoces ont préféré les indices maternels visuels aux indices auditifs les jours suivant l'éclosion. Ces modifications induisaient donc une altération des patterns de compétitivité entre les systèmes auditifs et visuels en cours de développement, perturbant ainsi le développement perceptuel (Lickliter, 1990).

Les études chez les animaux et les humains ont aussi mis en évidence que les embryons, fœtus et nouveau-nés étaient particulièrement sensibles à la quantité de stimulations sensorielles (Lickliter & Bahrick, 2000). Chez l'humain, les nourrissons exposés à des stimulations auditives préféraient les stimulations visuelles moins intenses que les nourrissons contrôles non stimulés (Lewkowicz & Turkewitz, 1981). D'autres résultats ont été apportés par les recherches comparatives chez les animaux, dans lesquelles il a été montré qu'une augmentation ou une diminution significative de la quantité de stimuli sensoriels, normalement présents dans le milieu embryonnaire prénatal, entraînait des altérations des niveaux d'attention et menait à des déficits conséquents dans le fonctionnement sensoriel et multisensoriel chez plusieurs espèces d'oiseaux (Lickliter, 2000a).

2.3.2.2. Effets de la co-occurrence des stimuli sensoriels

Les interactions multisensorielles peuvent aboutir à des interactions de type facilitatrice, mais aussi inhibitrice. Concernant les stimulations visuelles et auditives précoces, les chercheurs ont montré, dans une étude chez l'animal, que les embryons de canard colvert n'apprenaient pas l'appel maternel, qu'ils apprennent normalement dans l'œuf, s'il y avait une stimulation précoce et concurrente visuelle présentée dans le même temps que l'appel.

Cependant, ils apprenaient l'appel si les deux stimuli (auditif et visuel) n'étaient pas présentés en même temps (Gottlieb et al., 1989). D'autres relations, cette fois facilitatrices, ont aussi été mises en évidence chez les animaux. Par exemple, les oiseaux ayant eu, avec leurs pairs de la couvée, des expériences tactile, visuelle et auditive altérées pendant la période postnatale, répondent plus tardivement dans le développement aux informations maternelles en comparaison à leurs pairs contrôles (Lickliter & Bahrick, 2000), ou encore présentent des réponses auditives et visuelles perturbées (Gottlieb, Wahlsten, & Lickliter, 2007).

3. Expériences sensorimotrices précoces et développement

Les interactions que l'organisme entretient avec son environnement sont composées de dialogues sensorimoteurs continus et diversifiés impliquant des couplages perception-action associant informations multisensorielles et activités motrices (Paillard, 1994). D'après E.J. Gibson (2000), les couplages perception-action existent très précocement dans le développement, notamment grâce à la prédisposition des nouveau-nés à utiliser leurs systèmes perceptifs et à développer des répertoires d'actions leur permettant de découvrir leurs capacités d'action dans l'environnement, définies en termes d'affordances (Gibson, 1979). Par ailleurs, de la même manière que le développement peut être considéré comme un processus et un produit (Gottlieb, 1991), les nouveaux couplages perception-action rendus possibles au cours du développement enrichissent, à leur tour, les opportunités d'activités exploratoires (Gottlieb et al., 2007). Les expériences sensorimotrices, et donc de couplages perception-action, étant perturbées dans la période périnatale lors d'une naissance prématurée, cette partie sera consacrée aux données empiriques soutenant l'importance de ces expériences sensorimotrices précoces dans le développement, et plus spécifiquement dans le développement des habiletés motrices, clé de voute des interactions entre l'organisme et son environnement.

3.1. Perturbation des expériences sensorimotrices précoces

Des études comparatives chez les animaux ont mis en évidence l'importance des expériences sensorimotrices dans le développement en induisant des expériences précoces atypiques. Par exemple, Gottlieb (1971) a montré que la dévocalisation des canards, et donc l'absence d'activité de vocalisation, entraînait une absence de sélection auditive de l'appel maternel. Cependant, les oiseaux contrôles qui ont pu vocaliser et entendre leur propre

vocalisation 18 à 23 heures avant d'être devocalisés ont montré une préférence attendue pour l'appel maternelle de la canne (Gottlieb et al., 2007). Par ailleurs, des recherches menées auprès de chatons ont mis en exergue l'importance des stimulations visuelles associées au mouvement de marche dans le développement de la coordination œil-patte et le comportement visuellement guidé. Par exemple, dans l'étude de Held et Hein (1963), les chatons pouvaient se déplacer normalement ou étaient passivement déplacés. Le dispositif utilisé par les chercheurs est illustré dans la Figure 8.

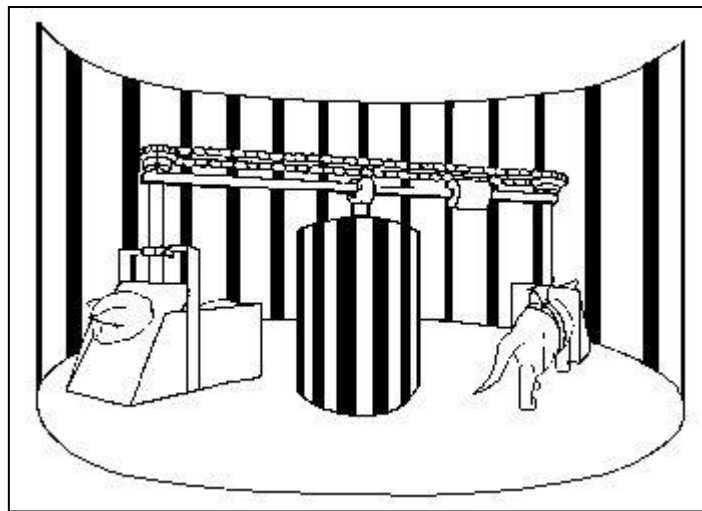


Figure 8. Dispositif permettant une stimulation visuelle semblable dans le contexte d'un mouvement passif ou actif chez des chatons. Extrait de Held et Hein (1963).

Les résultats ont révélé que la coordination œil-patte se développait normalement chez les chatons qui étaient autorisés à simultanément marcher et regarder un objet ou un événement, mais ne se développait pas normalement quand les chatons pouvaient seulement regarder passivement sans bouger. Cette expérience a donc mis en avant l'importance, dans la mise en place des habiletés motrices, de la cohérence temporo-spatiale entre des stimulations sensorielles multimodales précoces et une action (Lickliter & Bahrick, 2000).

3.2. Expériences sensorimotrices précoces et processus de maturation neuronale

Dans d'autres recherches comparatives menées chez le rat adulte, les auteurs ont montré que des expériences sensorimotrices précoces anormales dégradaient la locomotion, les tissus musculosquelettiques, et l'organisation topographique du cortex somatosensorielle primaire (S1), et altéraient les propriétés de réponse des neurones de S1 et de l'aire motrice primaire (M1). Par ailleurs, même si aucun changement neuroanatomique n'était observé, ils

retrouvaient en parallèle des changements dans l'excitabilité des réseaux de la moelle épinière lombaire. Par conséquent, même en absence de lésion cérébrale périnatale, les auteurs ont mis en évidence que les patterns anormaux des activités motrices et des entrées sensorielles vers une moelle épinière et un cerveau immatures jouaient un rôle pivot dans la formation des habiletés motrices et du fonctionnement cérébral (Coq, Delcour, Massicotte, Baud, & Barbe, 2016).

Des études morphologiques post-mortem de la moelle épinière humaine, et des études comportementales et neurophysiologiques de nouveau-nés et nourrissons, ont révélé, dans la période périnatale, une période critique pendant laquelle les entrées anormales ou diminuées dans les voies corticospinales mobilisées lors des activités sensorimotrices provoquent secondairement des perturbations du développement des centres moteurs spinaux (Eyre, Miller, Clowry, Conway, & Watts, 2000). Ainsi, la morphologie des terminaisons corticospinales sont extrêmement sensibles à la réduction du niveau d'activité sensorimotrice, mais aussi à la variabilité de ces activités (Friel & Martin, 2005).

Comme il a été largement évoqué précédemment, les interactions précoces avec l'environnement durant la période périnatale sont cruciales dans le développement de l'animal, comme de l'humain. Par ailleurs, les études concernant le développement des systèmes nerveux et des processus somatosensoriels convergent aussi vers l'importance des interactions entre le fœtus et son environnement par le biais de mouvements spontanés (Yamada, Fujii, & Kuniyoshi, 2013).

3.3. Rôle de la variabilité des expériences sensorimotrices

La variabilité des expériences sensorimotrices est cruciale car elle permet à l'organisme de sélectionner les solutions les plus appropriées dans les interactions avec l'environnement (Edelman, 1993). Ainsi, la variabilité est une propriété principale du développement moteur normal, que l'activité motrice soit spontanée ou décrite comme réflexe (Jouen & Molina, 2007). Cette variabilité est aussi essentielle pour le système musculosquelettique des nouveau-nés et des nourrissons qui est hautement plastique. La mise en place du système musculosquelettique est en effet modulée par les différentes positions du corps dès le stade fœtal, contribuant ainsi à former les articulations, les os et les courbes spinales du nourrisson. Alors que le développement primaire des tissus musculaires se déroule avant la naissance, la différenciation des fibres musculaires est considérée comme incomplète jusqu'à 40 semaines

post-conception. En parallèle, la mobilisation des articulations affine l'activité des mécanorécepteurs et donc influence les retours proprioceptifs associés aux mouvements. Ainsi, l'expérimentation de positions et de mouvements variés permet donc la mise en place de propriétés biomécaniques adaptées (Sweeney & Gutierrez, 2002).

La variabilité des comportements moteurs n'est pas aléatoire. Elle a tout d'abord une forme primaire, puis secondaire (Edelman, 1993). Dans sa forme primaire, elle n'est pas adaptée aux conditions extérieures et elle correspond à l'activation des répertoires de neurones primaires, permettant ainsi d'explorer les patterns de mouvements possibles chez le fœtus et le nourrisson de moins de 4 mois. La variabilité secondaire, quant à elle, est associée à une performance motrice dans une situation spécifique (Hadders-Algra, 2000). De manière générale, la diminution significative de la variabilité du comportement moteur, essence des expériences sensorimotrices, est associée à la notion de risque développemental. En effet, la variabilité participe à la sélection des cartes neuronales en multipliant les expériences sensorimotrices. Ainsi, la diminution de la variabilité comportementale biaise le processus de sélection (Hadders-Algra, 2000b).

Encadré 3 – Informations clés du Chapitre III

La période périnatale est une période critique du développement durant laquelle les interactions entre l'organisme et son environnement auront des conséquences majeures sur la mise en place des réseaux de neurones, ainsi que sur celle des habiletés perceptivo-motrices indispensables à des interactions adaptées avec l'environnement. Dès lors, les perturbations dans les expériences sensorielles et sensorimotrices précoces modifient le développement perceptif et le développement perceptivo-moteur. Enfin, la variabilité des expériences sensorimotrices précoces, associées à des couplages perception-action, semble aussi être un élément clé de la construction des habiletés perceptivo-motrices.

Chapitre IV - Le développement à court terme du nouveau-né prématuré : expériences atypiques et conséquences sur le développement perceptivo-moteur

Les différents éléments théoriques et empiriques présentés précédemment ont mis en évidence l'existence d'interactions entre différents niveaux du système qui influencent le développement de l'individu tout au long de sa vie. En s'appuyant notamment sur les perturbations développementales engendrées par des expériences atypiques, les études révèlent l'importance des interactions précoces entre l'organisme et son environnement lors de la période critique qu'est la période périnatale (Figure 9).

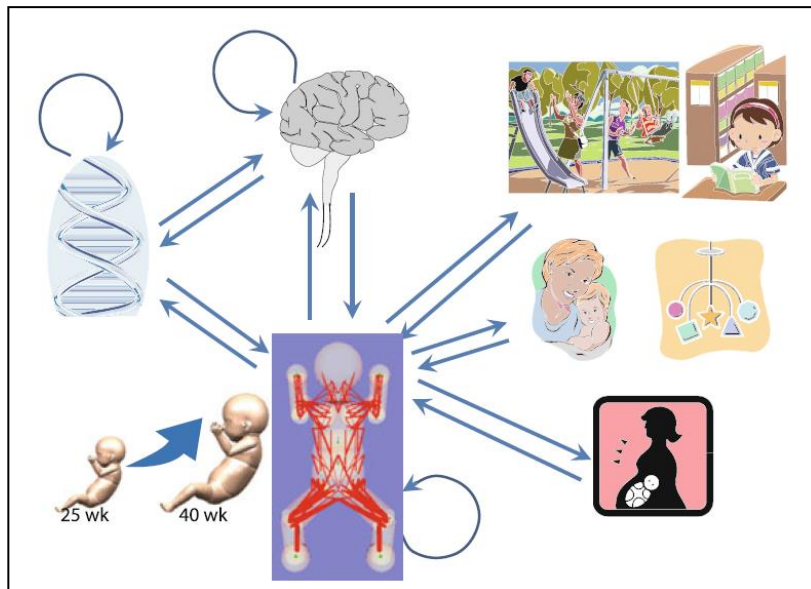


Figure 9. Schéma synthétisant les multiples interactions complexes impliquées dans le développement d'un individu dans la période périnatale puis l'enfance. Extrait de Kuniyoshi (2016).

Le chapitre suivant a pour objectif de présenter les différentes expériences atypiques et précoces (sensorielles, multisensorielles et sensorimotrices) vécues par le nouveau-né prématuré dans le cadre du service de soin en Néonatalogie, et d'en exposer des conséquences à court terme sur le développement des habiletés perceptivo-motrices. Dans une première partie, seront exposés les expériences atypiques précoces, sensorielles comme sensorimotrices, associées au contexte de la prématurité et de sa prise en charge.

Dans une deuxième partie, seront détaillés des impacts à court terme sur le développement des habiletés perceptivo-motrices. Enfin, dans une troisième partie, seront décrits les dispositifs pour préserver au mieux les nouveau-nés de ces conséquences négatives sur leur développement.

1. Expériences sensorielles et sensorimotrices du nouveau-né prématuré

1.1. Rupture de l'hétérochronie sensorielle

D'après la théorie de l'hétérochronie sensorielle, les systèmes sensoriels deviennent fonctionnels suivant une séquence précise (Gottlieb, 1971). Cette dernière joue un rôle essentiel contre les concurrences sensorielles au niveau des réseaux de neurones en cours de maturation (Turkewitz & Kenny, 1982). Or une naissance prématurée rompt cette séquence en exposant le nouveau-né à des stimuli visuels alors que tous les autres systèmes sensoriels, notamment auditif, ne sont pas complètement fonctionnels. Les études décrites précédemment portant sur les stimulations sensorielles trop précoces ont mis en évidence que cette rupture de l'hétérochronie sensorielle entraînait un effet délétère du système sensoriel tardif sur les systèmes sensoriels précoces, influençant dans le même temps les patterns de l'organisation perceptuelle, et donc les habiletés perceptives (Gottlieb et al., 1989; Lickliter, 2000b).

1.2. Environnement sensoriel et multisensoriel atypique en service de réanimation et de soins intensifs

L'environnement de naissance de l'enfant né prématuré, pris en charge par un service de réanimation, puis de soins intensifs, n'a pas les mêmes caractéristiques que l'environnement utérin. En effet, l'immatunité de l'organisme de l'enfant prématuré nécessite une surveillance médicale soutenue à la fois au niveau respiratoire, circulatoire, nutritionnel et thermique (Lejeune, 2010). L'environnement du nouveau-né tente donc de répondre aux contraintes associées à sa survie et à son suivi. En contrepartie, l'enfant prématuré sera exposé, pendant son hospitalisation, à de nombreux stimuli trop intenses, pas toujours cohérents et non écologiques. La non cohérence de ces stimuli peut être observée en termes d'incongruence temporo-spatiale, tandis que le caractère écologique renvoie au fait que ces stimulations ne sont pas celles classiquement observées et attendues à ce stade du développement (Kuhn,

Zores, Astruc, Dufour, & Casper, 2011). Étant vulnérable à ces sources de stress, et parfois même de douleur, ils provoquent chez le nouveau-né des changements respiratoire, cardiovasculaire, endocrinien, métabolique et digestif (Warren, 2002). Dans les parties suivantes seront détaillées des stimulations sensorielles et multisensorielles atypiques dans ce contexte.

1.2.1. Stimulations visuelles

Au niveau du système visuel, le réflexe pupillaire n'est pas mis en place avant 30 SA et est instable avant 34 SA, rendant ainsi les nouveau-nés très sensibles à la lumière (Kuhn et al., 2011). En effet, le niveau de maturité de leurs yeux est en adéquation avec l'environnement utérin qui laisse filtrer peu de lumière. Les stimulations visuelles en service de soins intensifs seront alors parfois trop soutenues (Graven & Browne, 2008; Kuhn, 2012). Afin de limiter un effet trop nocif de la lumière sur le développement et sur les rythmes du nourrisson, l'American Academy of Pediatrics (AAP) recommande, dans les services de néonatalogie, des équipements lumineux ajustables, avec une quantité de lumière pouvant varier entre 10 et 600 lux⁷ (Lejeune, 2010).

1.2.2. Stimulations auditives

L'environnement sonore a fait l'objet d'études montrant que l'environnement des services de soins intensifs était plus bruyant qu'un service de soin classique et que les niveaux sonores étaient trop élevés (Anagnostakis, Petmezakis, Messaritakis, & Matsaniotis, 1980). En effet, les sources de stimulations sonores y sont multiples, variées, dans les hautes fréquences et continues. On y retrouve les bruits associés aux présences humaines ainsi qu'aux appareillages de surveillances et de survie et l'ensemble de ces bruits sont compris dans une gamme de 50 à 75 dB, allant jusqu'à 100 dB (environ une tronçonneuse en marche). Ces stimulations sont à l'opposé de celles reçues in utero composées de sons de basses fréquences, car filtrés, non continus et d'intensité maximale de 60 dB (environ un lave-vaisselle en marche). L'AAP recommande un niveau sonore ne devant pas dépasser 45 dBA. Cependant, cela n'est pas toujours le cas dans toutes les unités de soins où les sons sont imprévisibles, intenses, continus et majoritairement de fréquence élevée (Kuhn et al., 2011; Kuhn, 2012; Lejeune, 2010).

1.2.3. Stimulations tactiles

Au niveau tactile, les sensations plutôt douces et amorties ressenties dans le milieu utérin sont remplacés par les soins quotidiens nécessitant la pose de cathéter, de sonde ou d'électrode, ainsi que des manipulations pour le change, l'alimentation et les changements de positions (Koenig-Zores & Kuhn, 2016; Lejeune, 2010). Elles sont des sources de stress, mais parfois aussi de douleur. En effet, sur une fréquence évaluée entre 0 et 62 fois par jour, 0 à 51 stimulations tactiles sont de nature nociceptive (Kuhn et al., 2011).

1.2.4. Stimulations olfactives

De la même façon que les autres stimuli sensoriels, les stimulations olfactives des services de soins intensifs diffèrent de celles de l'environnement utérin à la fois en nombre et en qualité. En effet, les odeurs captées par les nouveau-nés prématurés sont majoritairement artificielles et proviennent de multiples sources comme les produits cosmétiques utilisés dans les soins corporels, les produits de stérilisation, les tissus et le matériel de soin, ainsi que l'odeur des personnes qui les manipulent (soignants, famille). L'ensemble de ces stimulations se chiffrent à une occurrence de 1320 à 1800 fois pendant le premier mois de vie et elles sont globalement jugées irritantes (Koenig-Zores & Kuhn, 2016; Kuhn et al., 2011).

1.2.5. Stimulations vestibulaires

Le système vestibulaire est sensible aux accélérations créées par les mouvements actifs ou passifs de l'organisme (Bullinger, 2015b). Or, dès la naissance, le nourrisson prématuré passe une grande partie du temps dans sa couveuse, par conséquent ses mouvements passifs sont moins nombreux que dans le milieu utérin. De plus, comme cela sera développé dans une partie ultérieure (Chapitre IV.1.3.), ses mouvements actifs sont aussi plus réduits. Le résultat global est que le système vestibulaire du nouveau-né prématuré est alors beaucoup moins sollicité que dans le milieu utérin (Korner, Schneider, & Forrest, 1983).

1.2.6. Stimulations multisensorielles

Cet ensemble de stimulations atypiques qui vient d'être présenté place également le nouveau-né prématuré face à des stimulations multisensorielles atypiques, à la fois en termes de structures spatiales et temporelles. Par exemple, dans les services de réanimation et de soins intensifs, les sources sonores ne sont pas souvent visibles, ou encore non localisables, pour le nouveau-né, même s'il est capable de se tourner vers elles (Lickliter, 2011). Les bruits (ex : équipements d'assistance respiratoire et de surveillance) arrivent généralement indépendamment des autres stimulations reçus dans d'autres modalités sensorielles, et apportent peu d'opportunité pour l'enfant d'associer le stimulus auditif à une référence tactile et visuelle (Lickliter, 2011). Par ailleurs, les caractéristiques du milieu de naissance de l'enfant prématuré peuvent aussi générer des dysstimulations multisensorielles. Par exemple, dans la couveuse, une source sonore ne sera pas associée à une localisation spatiale fixe à cause des parois créant une résonance du stimulus auditif (Johnson, 2001; Kloeckner, 2008). En résumé, la nature des stimuli délivrés et produits par les nourrissons dans les services de réanimation et de soins intensifs réduit la quantité ou la disponibilité de redondance sensorielle et ceci au détriment de l'organisation sensorielle précoce (Lickliter, 2011).

1.3. Limitation des mouvements spontanés

Les nouveau-nés prématurés, de par leur fragilité médicale, restent maintenus dans des positions corporelles dont la variabilité est réduite. Ils expérimentent ainsi une compression prolongée des articulations et une sollicitation moins fine des mécanorécepteurs dans le domaine spatial, les prédisposant à des déformations squelettiques, un raccourcissement musculaire, et une mobilité articulaire réduite (Sweeney & Gutierrez, 2002). Par ailleurs, les postures réduites à cause des dispositifs médicaux seront accompagnées d'une variabilité moindre des mouvements car les nouveau-nés prématurés présentent une immaturité musculaire et moins de tonus qui limitent leurs mouvements spontanés (Niel-Bernard, 2011). Ainsi, des études menées chez des nouveau-nés prématurés, autour de l'âge équivalent au terme de naissance, ont mis en évidence un tonus moins efficient et une activité motrice plus limitée en comparaison de nourrissons nés à terme.

Par exemple, Ferrari, Grosoli, Fontana, et Cavazzuti (1983) ont ainsi montré des scores significativement plus bas aux items moteurs de l'échelle de Brazelton dans le groupe de nouveau-nés prématurés par rapport au groupe de nouveau-nés nés à terme. La Figure 10 synthétise graphiquement les résultats et montre des scores plus bas pour le tonus général et la maturité motrice chez les nourrissons nés prématurés.

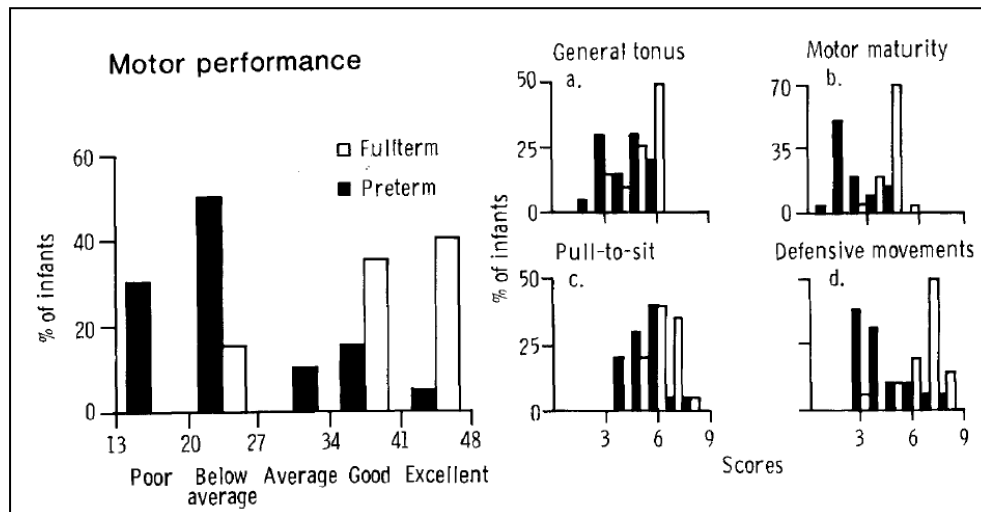


Figure 10. Distribution des scores pour les items évaluant la motricité dans les deux groupes de nouveau-nés (nés prématurés et nés à terme). Extrait de Ferrari et al. (1983).

A une période similaire, l'étude de Palmer, Dubowitz, Verghote, et Dubowitz (1982) a, quant à elle, utilisé le test de Dubowitz et Dubowitz (1981). Dans ce test, les comportements des nouveau-nés prématurés et nés à terme étaient observés, notamment suite à des mouvements passifs des bras et des jambes. Les auteurs ont montré une réduction des réponses de flexion chez les nouveau-nés prématurés traduisant un tonus musculaire moins important. Par la suite, de Groot, Hopkins, et Touwen (1995) ont observé les réponses posturales pendant deux examens testant des réflexes, le test de traction et celui de la suspension ventrale. Ces deux examens sont illustrés dans la Figure 11. Les chercheurs ont alors révélé que, contrairement aux nouveau-nés nés à terme qui ont eu une réponse posturale adaptée dans les deux tests, seulement 40% des nouveau-nés prématurés ont présenté une réponse posturale adaptée, et par conséquent une activation musculaire appropriée.

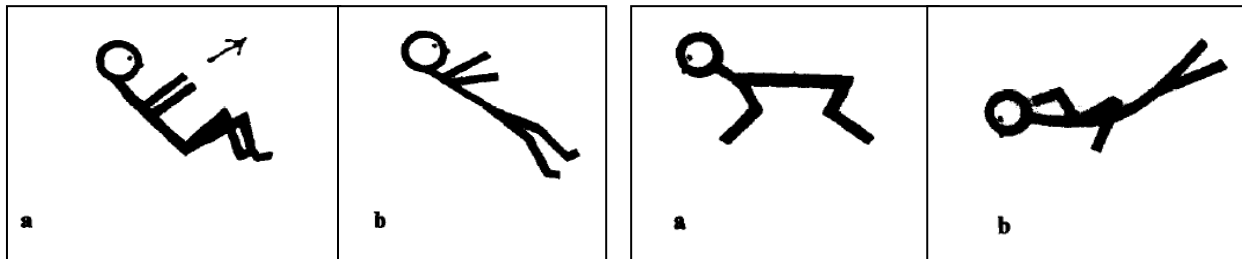


Figure 11. Schémas des tests de traction (à gauche) et de suspension ventrale (à droite), ainsi que deux types de réponses comportementales (a : normal / b : hyper-extension). Extrait de de Groot, Hopkins, et Touwen (1995).

2. Conséquences sur le développement perceptivo-moteur

2.1. Etudes des trajectoires du développement perceptivo-moteur par le biais de tests standardisés

Des études se sont intéressées à la trajectoire du développement perceptivo-moteur de nourrissons nés prématurés en utilisant l'Alberta Infant Motor Scale (AIMS). Dans l'ordre chronologique de publication, la recherche longitudinale de Pin, Darrer, Eldridge, et Galea (2009) a étudié le développement moteur des nourrissons nés prématurés de 4 à 8 mois d'âge corrigé. Ils ont ainsi montré que ces nourrissons présentaient des comportements moteurs différents de leurs pairs avec une progression irrégulière des habiletés motrices. Par exemple, à 8 mois d'âge corrigé, 90% des nourrissons nés à terme étaient capables de s'asseoir sans aide des bras, contre seulement 56% des nourrissons nés prématurés qui se maintenaient brièvement en position assise. La Figure 12 illustre les différents résultats à l'AIMS, soit le développement irrégulier des compétences motrices des nourrissons nés prématurés dans cette étude.

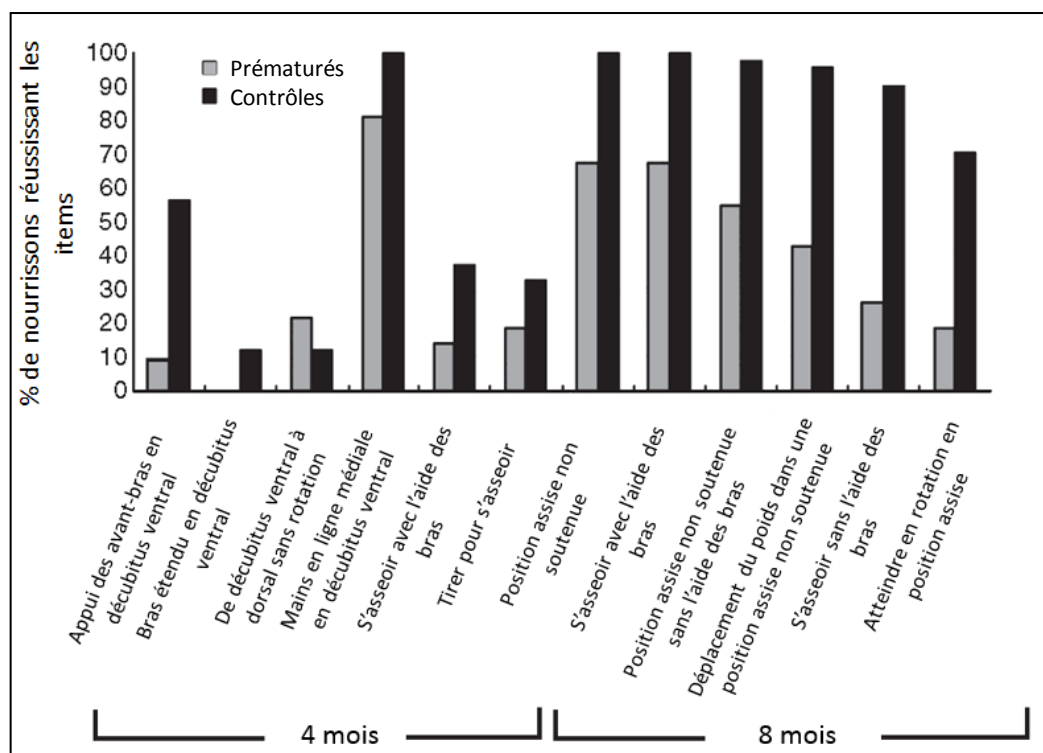


Figure 12. Proportions de nourrissons nés prématurés et nés à terme réussissant les items de l'AIMS à 4 mois et 8 mois (âge corrigé pour les nés prématurés). Extrait de Pin, Darrer, Eldridge, et Galea (2009).

Par la suite, dans leur étude longitudinale, Formiga et Linhares (2011) ont porté leur attention sur les 12 premiers mois de vie de nouveau-nés prématurés et ont ainsi révélé, à l'aide de l'AIMS, que le développement des acquisitions motrices des nouveau-nés prématurés se caractérisaient par un pattern non linéaire différent de celui des nourrissons nés à terme. En effet, dans le groupe des nouveau-nés prématurés, le plus grand nombre d'habiletés motrices était observé entre 6 et 8 mois, suivi d'une stabilisation du développement moteur entre 8 et 10 mois.

2.2. Utilisation de quelques mesures prédictives

D'autres recherches ont mis en évidence un lien entre des mesures biologiques ou comportementales précoces et le développement perceptivo-moteur ultérieur, permettant ainsi d'anticiper au mieux les prises en charge médicales et paramédicales (Maitre, Slaughter, & Aschner, 2013). Chez les nourrissons nés prématurés, l'étude longitudinale de de Groot, Hoek, Hopkins, et Touwen (1992) portait sur l'observation du développement de la relation entre l'activation musculaire passive et active (légèrement divergente, divergente marquée, hypertonique, hypotonique) dans trois parties du corps (épaules, tronc et jambes), chez des nouveau-nés nés à terme ou prématurés de l'âge du terme jusqu'à 24 semaine d'âge corrigé. Les résultats ont révélé que la trajectoire développementale de cette relation était différente chez les nouveau-nés prématurés avec des fluctuations plus importantes dans les mesures. Par la suite, les mêmes chercheurs ont montré, chez les nourrissons nés prématurés, que les scores au test de Touwen à 52 semaines étaient plus bas lorsqu'il y avait un écart entre les deux types activités (passive et active), ou lorsqu'il existait une rigidité globale au-delà de 12 semaines d'AC (De Groot, Hoek, Hopkins, et Touwen, 1993).

Par ailleurs, Fallang, Oien, Hellem, Saugstad, et Hadders-Algra (2005) ont observé, chez des nouveau-nés prématurés à 4 et 6 mois d'AC, des indices cinématiques (ex. vitesse maximale) de mouvements d'atteinte et les déplacements du Centre des pressions (CdP) qu'ils induisent. En utilisant la Movement Assessment Battery for Children (M-ABC) et le test de Touwen chez ces mêmes enfants âgés de 6 ans, les auteurs ont pu montrer que des performances échouées dans la tâche d'atteinte étaient associées à des dysfonctionnements neurologiques mineurs, ainsi qu'à des difficultés de manipulation manuelle fine. Enfin, Miyagishima et al. (2018) ont mené une étude longitudinale auprès de nourrissons nés prématurés avec un poids inférieur à 1500g. Dans cette recherche, les auteurs se sont servis d'un système de capture de mouvement en 3D à 3 mois d'AC et ont mesuré le développement moteur global à 6 et 12 mois d'AC à l'aide de l'échelle motrice d'Alberta (AIMS). Ils ont alors révélé que les indices associés aux mouvements spontanés antigravitaires à 3 mois d'AC, soit la distance entre les mains et les pieds, ainsi que la hauteur des mains et des pieds, étaient significativement corrélés avec le développement moteur global à 6 ou 12 mois d'AC.

2.3. Observations des mouvements généraux comme outil de prédiction du développement

2.3.1. Définition des mouvements généraux

Les mouvements généraux, notés par la suite MG, sont observés chez le fœtus et le nourrisson. Ils sont impulsés par des oscillations neuronales dans les circuits de la moelle épinière et du tronc cérébral et mobilisent tout le corps. De 28 SA jusqu'à 36 SA, ils sont caractérisés par une variabilité importante, et de 36 à 38 SA, ils évoluent vers de fortes contorsions. Ensuite, une seconde transition de ces mouvements se déroule à l'âge de 6 à 8 semaines après le terme. Ils évoluent alors en plus petits mouvements, plus élégants, appelés nerveux ou agités (fidgety en anglais). Pour décrire les MG, deux critères clés sont utilisés, celles de variation et de complexité. La complexité est associée à la variabilité spatiale des mouvements à un temps t , tandis que la variation renvoie aux variations temporelles des mouvements. Une bonne variation signifie donc que le nourrisson produit continuellement de nouveaux patterns de mouvement au cours du temps (Hadders-Algra, 2004).

Une classification en quatre types de MG a été établie en fonction de ces deux critères, auxquels a été rajouté celui de la fluidité. Le Tableau 3 détaille cette classification qui sert de guide. Cependant, il est important de préciser que la qualité du mouvement suit en fait un continuum dont les deux extrémités seraient d'un côté des mouvements très variables, complexes et fluides, et de l'autre côté des mouvements très stéréotypés, raides et synchronisés en bloc. De plus, la qualité des mouvements n'est pas fixe au cours du développement et peut évoluer dans le sens positif ou négatif (Hadders-Algra, 2004).

Tableau 3. Classification des MG en fonction de la complexité, de la variation et de la fluidité. Les significations des signes « + » et « - » sont détaillés dans les légendes sous le tableau. Copié de Hadders-Algra (2004).

Classification	Complexité	Variation	Fluidité
MG normaux-optimaux	+++	+++	+
MG normaux-sous-optimaux	++	++	-
MG modérément anormaux	+	+	-
MG nettement anormaux	-	-	-

<p><i>Légende pour la complexité et la variation</i></p> <p>+++ : abondamment présent</p> <p>++ : suffisamment présent</p> <p>+ : présent mais insuffisant</p> <p>- : virtuellement absent ou absent</p>	<p><i>Légende pour la fluidité</i></p> <p>+ : présent</p> <p>- : absent</p>
--	---

2.3.2. Observation des mouvements généraux chez les nouveau-nés prématurés

Les chercheurs se sont intéressés aux caractéristiques des mouvements spontanés effectués par les nouveau-nés prématurés en s'appuyant sur l'observation des MG. En terme de classification des MG anormaux, on retrouve notamment les notions de répertoire pauvre, lorsque les séquences de MG sont monotones ; de synchronisé-rigide, lorsque que les MG apparaissent rigides, non fluides et mobilisant simultanément les muscles des membres et du tronc dans des séquences de contraction-relaxation ; de chaotique, lorsque tous les membres ont des amplitudes amples mais que les mouvements apparaissent de manière non structurée, sans fluidité ou douceur, ou les deux, et enfin d'hypokinétique, lorsque les mouvements généraux sont absents ou très courts (Mijna Hadders-Algra, 2008).

De Vries et Bos (2010) ont enregistré des vidéos des MG de nouveau-nés prématurés à 2, 4, 6 et 10 jours postnataux. Ils ont alors mis en évidence 65% de MG avec un répertoire pauvre et 6% de MG hypokinétique. Par ailleurs, des résultats similaires sont retrouvés dans l'étude de Olsen et al. (2015). Les auteurs soulignent aussi la variabilité des observations en fonction des nouveau-nés prématurés, et proposent d'interpréter ces résultats en termes

d’immaturité et d’instabilité plutôt qu’en termes de développement différent du système nerveux central. Une étude de Bougle et al. (1990), mettant en évidence une vitesse de conduction nerveuse motrice similaire chez des nouveau-nés prématurés à l’âge du terme et des nouveau-nés nés à terme dans leur première semaine de vie, tend à contredire cette hypothèse.

2.3.2. Observations des mouvements généraux chez des nouveau-nés prématurés comme mesure de prédiction

Les MG sont aussi utilisés pour prédire le développement perceptivo-moteur. Ainsi, dans l’étude de Hadders-Algra (2004), les nourrissons présentant des MG anormaux qui persistaient, étaient à haut risque (70 à 80%) quant au développement d’un trouble moteur majeur, la paralysie cérébrale (PC) (détaillée ultérieurement). Les nourrissons qui, au final, ne présentaient pas de PC montraient d’autres problèmes développementaux comme des troubles neuromoteurs mineurs (détaillés ultérieurement), ou des déficits attentionnels avec ou sans hyperactivité. La plus haute valeur prédictive (85 à 98%), en termes de risque de PC, était la qualité des MG de 2 à 4 mois (mouvements agités).

Dans l’ordre de publication, l’étude de Bruggink et al. (2008) ont ainsi mesuré le répertoire des MG chez des nourrissons nés prématurés en filmant leurs mouvements de 6 à 24 semaines après le terme. Ensuite, à l’âge de 7 à 11 ans, les compétences neurologiques de ces enfants ont été évaluées par le test de Touwen. Leurs résultats ont révélé que des MG anormaux prédisaient des troubles neuromoteurs mineurs chez 64% des enfants. Ensuite, Kanemaru et al. (2013) ont approfondi l’observation des mouvements généraux en utilisant des indices cinématiques, comme la vitesse moyenne, et le nombre d’unités de mouvement. Ils ont ainsi mis en évidence que les mouvements spontanés à l’âge du terme étaient moins observés, avec des mouvements synchronisés et soudains, chez les enfants qui présentaient un retard développemental à 3 ans (échelle du développement psychologique de Kyoto).

Et enfin, la récente revue de littérature de Einspieler, Bos, Libertus, et Marschik (2016) a renforcé l’idée que les caractéristiques des MG étaient aussi associées au devenir cognitif. Par exemple, les enfants nés prématurés avec des MG anormaux jusqu’à 8 mois après le terme avaient des quotients intellectuels plus bas à l’âge scolaire que ceux qui présentaient des MG normaux. Les auteurs ont alors avancé qu’un répertoire moteur normal lors du premier mois

après le terme était un prédicteur d'un développement cognitif normal, et ceci au moins jusqu'à l'âge de 10 ans.

2.4. Lien entre motricité précoce et maturation cérébrale : un modèle informatique

Un projet de 5 ans mené par Yasuo Kuniyoshi a été lancé au Japon en 2012 et a permis la création d'un modèle dont l'objectif était d'explorer comment les expériences sensorimotrices guident le développement cortical. C'est dans ce contexte que la première simulation informatique au monde d'un fœtus humain (corps, système nerveux) et de son environnement a été proposée (Kuniyoshi, 2016; Yamada et al., 2016). La Figure 13 montre une image du modèle résultant (Kuniyoshi, 2016).

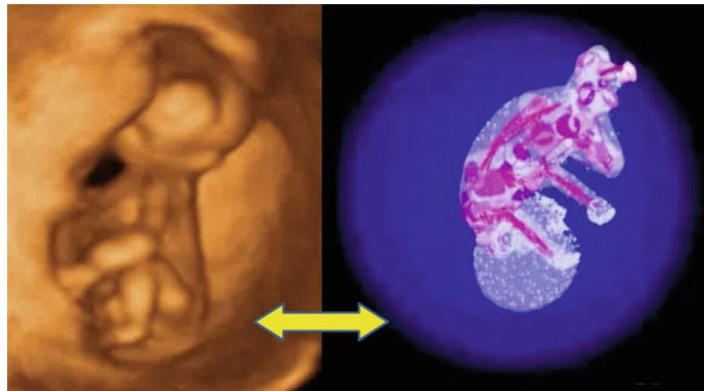


Figure 13. Image en 4D d'un fœtus humain à gauche et le modèle informatique d'un fœtus au même stade de développement à droite. Extrait de Kuniyoshi (2016).

Lorsque ce modèle prenait en compte les conditions anormales correspondant aux caractéristiques connues d'une naissance prématurée, c'est-à-dire, une exposition précoce à l'environnement extra-utérin (entrées sensorielles plus complexes et moins filtrées), une réduction de la complexité et de la variabilité des mouvements spontanés, et un équilibre anormal entre excitation et inhibition des réseaux neuronaux corticaux ; ces conditions perturbaient la formation des structures et le fonctionnement des cartes cérébrales corporelles de manière somatotopique (Yamada et al., 2013).

3. Facteurs de protection apportés au sein du service de néonatalogie

3.1. Soins de développement

Les études menées sur les effets délétères de l'environnement du nouveau-né prématuré sur le développement de ce dernier ont soulevé la question de la protection sensorielle et neurologique des nourrissons (Graven, 2000). Or, c'est un véritable défi que d'essayer d'adapter au mieux l'environnement de soin du nouveau-né prématuré afin qu'il soit en adéquation à la fois avec la prise en charge médicale, et avec les capacités de traitement neurologique de ces nouveau-nés (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). Ainsi, dans l'objectif de limiter le stress du bébé prématuré, d'améliorer son environnement et de contribuer à son développement, des programmes de soins de développement ont été mis en place au sein des unités de soins intensifs.

Ces programmes de soins sont très variés et peuvent être divisés, de manière simplifiée, en 4 grandes catégories de méthodes : réduction du stress, stimulation sensorielle (unimodale spécifique, multimodale spécifique, multimodal général), intervention motrice (passive, active spécifique, active générale), et favorisation des interactions parents-nourrisson (Blauw-Hospers & Hadders-Algra, 2005). Cependant, un même programme peut mobiliser plusieurs méthodes. Par exemple, dans leur étude, Korner et al. (1983) ont utilisé des matelas d'eau dans les services de soin, installés avant le 4^{ème} jour postnatal jusqu'à la fin de l'évaluation. Dans ce programme, l'objectif visé consistait en des stimulations multimodales spécifiques, dont vestibulaires, une réduction du stress et une intervention motrice passive. Le programme de soins le plus connu est le programme NIDCAP (Neonatal Individualized Developmental Care and Assessment Program). Elaboré par Heidelise Als dans les années 80, il est en faveur de la réduction des stimulations (Als, Duffy, & McAnulty, 2004; Pierre Kuhn, 2012; Lejeune, 2010).

3.2. Interventions possibles sur la posture

En parallèle, et de manière complémentaire aux programmes de soin de développement, un aspect essentiel de la vie en couveuse est moins évoqué : celui de la posture. En effet, l'attention portée à la posture des nouveau-nés est primordiale pour l'intégrité du squelette,

l'alignement biomécanique, le contrôle postural et l'organisation sensorimotrice. Dans le même temps les procédures de positionnement des nouveau-nés permettent notamment de soutenir la posture et le mouvement, d'apporter une exposition contrôlée à des stimuli proprioceptif, tactile, et visuel variés, et de promouvoir le calme, la régulation du comportement (Sweeney & Gutierrez, 2002).

Ainsi, les programmes concernant les postures incluent, par exemple, un alignement neutre de la tête et du tronc ou avec le menton légèrement rentré (surtout en cas de ventilation), une inclinaison pelvienne postérieure avec une flexion symétrique des hanches et une rotation neutre. Ces procédures sont rendues plus complexes en cas de présence de dispositifs d'aide à la respiration ou d'intraveineuses, ce qui est loin d'être rare dans le contexte de la prise en charge des nouveau-nés prématurés. De plus, le positionnement pour ces interventions accentue souvent l'extension du cou, du tronc et des extrémités qui nécessitera des aides positionnelles. La Figure 14 illustre une de ces hyper-extensions (Sweeney & Gutierrez, 2002).



Figure 14. Nouveau-né avec une lordose cervicale exagérée et une hyperextension du cou, accentuée par la position de la sonde d'intubation facilitant la respiration. Extrait de Sweeney et Gutierrez (2002).

3.3. Soins de développement - Efficacité

3.3.1. Effet global

A la suite de la mise en place de ces programmes, les recherches se sont intéressées à l'évaluation de leur efficacité protectrice, à court terme comme à long terme, démontrant que la qualité des expériences sensorielles et motrices avant le terme de naissance peut influencer significativement le développement cérébral et moteur. Par exemple, l'étude de Als et al. (2004), menée auprès de nourrissons nés prématurés entre 28 et 33 SA, a évalué l'impact du programme NIDCAP sur le développement neurologique à l'âge de 2 semaines d'âge corrigé, puis à 9 semaines d'âge corrigé. Les résultats ont mis en évidence que les deux groupes d'enfants (NIDCAP et sans NIDCAP) étaient médicalement comparables avant et après le programme de soins. Cependant, le groupe expérimental présentait un meilleur fonctionnement neurocomportemental, et une augmentation de la cohérence temporelle des activités des régions cérébrales frontale et occipitale.

3.3.2. Effet sur le développement moteur

La revue de littérature de Blauw-Hospers et Hadders-Algra (2005) a mis en exergue un effet bénéfique des soins développementaux précoces sur le développement moteur. Les auteurs concluent cependant la revue en avançant que le programme doit être adapté à l'âge de l'enfant (avant l'âge du terme et après l'âge du terme), les nouveau-nés prématurés semblant bénéficier le plus des interventions mimant l'environnement utérin (ex. NIDCAP), tandis que les nouveau-nés ayant dépassé l'âge du terme bénéficient plus des programmes de développement axés sur la stimulation des comportements moteurs. D'autres études plus récentes apportent de nouveaux éléments en faveur d'un impact positif de stimulations auditives, tactiles, visuelles et vestibulaires sur le développement moteur. Cette effet positif a aussi été démontré par le Infant Neurological International Battery (INFANIB) dans l'étude de Kanagasabai, Mohan, Lewis, Kamath, et Rao (2013) et par l'observation d'une amélioration des MG « agités » dans l'étude Ma et al. (2015).

3.3.3. Importance de l'implication de l'entourage familial

La très récente revue de littérature de Puthussery, Chutiyami, Tseng, Kilby et Kapadia (2018), portant spécifiquement sur les interventions précoces à l'intention des parents des nouveau-nés prématurés, a mis en évidence un impact globalement positif de ces interventions. Parmi ces dernières, le soin kangourou (Kangaroo Mother Care - KMC), ou peau-à-peau, qui s'appuie sur des interactions entre le parent et le nouveau-né tout en proposant des stimulations multisensorielles appropriées, est celle qui a le plus d'impact positif sur le devenir des nouveau-nés. Ces effets bénéfiques avaient notamment été montrés sur le maintien de l'homéostasie, la thermorégulation, la prise de poids, et le sommeil (Koenig-Zores & Kuhn, 2016), ainsi qu'à long terme sur l'autorégulation, l'attention, les capacités cognitives et l'investissement maternel (Feldman, 2002). Par ailleurs, un autre aspect familial à prendre en compte est celui de l'influence du contexte socio-économique et du niveau scolaire des parents. En effet, une étude nationale américaine, the Infant Health and Developmental Program, a examiné l'efficacité des programmes alliant soins de développement et soutiens aux familles. Les résultats montrent que le niveau d'éducation de la mère jouait un rôle majeur dans l'influence du programme sur le devenir du nouveau-né (Weindling, 2010). Une autre étude de Potijk, Kerstjens, Bos, Reijneveld, et de Winter, (2013) a aussi mis en évidence que le statut socioéconomique pouvait participer à l'établissement d'un retard développemental global ou de la motricité fine, des habiletés de communication ou encore de résolution de problème. Ainsi, l'environnement socio-économique, le niveau d'éducation familial, ainsi que les interactions sociales avec la famille, sont des facteurs pouvant à la fois être des facteurs de vulnérabilités et des facteurs de protection pour le développement du nouveau-né prématuré.

3.4. Limites des programmes de soins

Malgré l'ensemble des données qui s'accumulent en faveur des effets positifs des interventions précoces (Blauw-Hospers & Hadders-Algra, 2005), quelques critiques persistent. Feldman (2002) évoque, par exemple, dans sa revue de littérature, le manque de base théorique et de connaissances sur ce qui est acquis de manière transitoire ou stable, ainsi que l'existence de variations méthodologiques importantes. Par exemple, la revue de littérature de Blauw-Hospers et Hadders-Algra (2005) portant sur les effets d'une intervention

précoce sur le développement moteur a mis en exergue une variabilité importante dans les caractéristiques des programmes testés (ex. NIDCAP, stimulation auditivo-tactilo-visuo-vestibulaire, peau-à-peau, ...), la durée du programme (2 mois à plus de 4 ans), et l'intensité du programme (une fois par mois à en continu). Feldman (2002) avance aussi que les bénéfices mentionnés peuvent être liés à un effet « de Hawthorne », c'est-à-dire que les changements positifs sont simplement dus au fait de participer à un programme, traduisant une motivation importante et un investissement dans les soins. Ces critiques sont régulièrement reprises par les chercheurs qui notent cependant des améliorations dans la rigueur méthodologique des recherches menées (Blauw-Hospers & Hadders-Algra, 2005).

Encadré 4 – Informations clés du Chapitre IV

Le nouveau-né prématuré fait face dès sa naissance à des expériences précoces atypiques, tant au niveau sensoriel, que sensorimoteur. Ces expériences combinées à la vulnérabilité neurobiologique du nouveau-né prématuré à cette période de la vie peuvent dès lors avoir des conséquences négatives sur le développement. Ces effets ont notamment été montrés sur le développement moteur. Certaines mesures associées au comportement moteur sont même utilisés à leur tour comme des indicateurs de prédiction du développement. Par ailleurs, des programmes de soins, dits soins de développement, sont mis en place dans les services de réanimation et de soins intensifs de néonatalogie pour tenter de limiter ces conséquences négatives. Cependant, leur efficacité dépend du type de programme proposé et à quel moment du développement il est appliqué.

Chapitre V - Développement perceptivo-moteur de l'enfant né prématuré

La naissance prématurée est un contexte dans lequel les interactions entre l'organisme et son environnement seront perturbées à un stade précoce du développement très sensible aux expériences. Malgré les programmes de soins et de stimulations proposés dans les services de néonatalogie pour limiter les conséquences négatives sur le développement, ces dernières peuvent persister à long terme. Ce chapitre sera donc consacré à la présentation des conséquences à long terme sur le développement perceptivo-moteur. Dans une première partie, seront évoquées les conséquences à long terme dans d'autres domaines du développement que moteur. Dans une deuxième partie, seront détaillés les conséquences spécifiques au développement neuromoteur et perceptivo-moteur. Dans une troisième partie, seront mises en avant les données sur le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans trouble neurologique. Ces données serviront de socle de réflexion pour mettre en avant l'intérêt d'étudier le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans trouble neurodéveloppemental.

1. Conséquences générales de la prématurité à long terme

1.1. Conséquences de la naissance prématurée sur le développement cérébral

En raison des perturbations que la naissance prématurée engendre dans le processus normal de maturation cérébrale, en particulier dans le processus de myélinisation, les lésions de la matière blanche comme les leucomalacies périventriculaires (LPV) sont prédominantes chez le grand prématuré (De Kieviet, Zoetebier, Van Elburg, Vermeulen, & Oosterlaan, 2012). Ces lésions de la substance blanche sont associées ou non à des perturbations de la croissance cérébrale (Plaisier, Govaert, Lequin, & Dudink, 2014). Ainsi, en termes de volume cérébral, les études mettent en évidence une réduction moyenne de 0.58 écart-type du volume total chez les enfants grands prématurés. Cette diminution n'est pas limitée à certaines aires cérébrales mais est présente à une magnitude similaire dans la matière grise et la matière blanche, suggérant une réduction globale du volume cérébral plutôt que des effets aires-spécifiques (De Kieviet et al., 2012).

L'influence de la naissance prématurée sur le développement cérébral se prolonge sur le long terme. En effet, une étude longitudinale en IRM chez des enfants nés prématurés et des enfants nés à terme âgés entre 8 et 12 ans, a révélé des trajectoires développementales différentes en termes de volume cérébrale chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme. Par exemple, les enfants nés prématurés ont une augmentation de 10% de matière blanche de manière bilatérale entre 8 et 12 ans, contre une augmentation de plus de 26% pour chaque hémisphère chez les enfants nés à terme (Ment et al., 2009). D'autres études ont montré des différences de connectivité cérébrale chez les individus nés prématurés, et ceci de la naissance à l'âge adulte. Par exemple, il a été montré des connections moins nombreuses entre le thalamus (premier relai cérébral des informations sensorielles) et d'autres régions corticales chez des nourrissons nés prématurés à l'âge équivalent au terme en comparaison de nourrissons nés à terme (Ball et al., 2013). Chez les adultes, une étude de White et al. (2014) a révélé que les individus nés prématurés avaient une connectivité neuronale moindre que des individus nés à terme au sein des réseaux cérébraux lorsqu'aucune tâche n'était demandée.

Une revue de littérature portant sur les liens entre résultats d'imagerie et devenir développemental montre clairement que l'étendue des anomalies structurales, des déformations microstructurelles et de la réduction globale des volumes cérébraux, à la fois à un âge prématuré et à un âge équivalent à celui du terme, sont directement liées au niveau des performances neuromotrices et neurocognitives dans l'enfance (Plaisier et al., 2014). Ainsi, plus les anomalies cérébrales étaient étendues et majeures, plus les performances neuromotrices et neurocognitives étaient faibles dans l'enfance (Plaisier et al., 2014). De plus, les derniers travaux effectués sur la cohorte EPIPAGE 2 montrent qu'un pourcentage non négligeable des enfants vus entre 2 et 8 ans (ex. 33 % pour ceux nés entre 29 et 32 SA) ont développé des séquelles motrices, cognitives ou comportementales, modérées à sévères, en l'absence de lésion cérébrale identifiable par l'échographie transfontanellaire (ETF) (Marret et al., 2015). A contrario, la plasticité neurale, quand elle est possible peut être bénéfique et limiter l'apparition de difficultés neurodéveloppementales suite à des lésions neurologiques, même si la trajectoire développementale qui en résulte diffère de la normale (Marret, 2007).

Cependant, même si les lésions neurologiques visibles en imagerie cérébrale standard sont très fluctuantes en période périnatale, elles restent le facteur de risque le plus prédictif de séquelles neurodéveloppementales (Marret et al., 2015; Plaisier et al., 2014). Dès lors, le nouveau-né prématuré sera catégorisé à haut risque ou à bas risque en fonction de certains critères comme l'état neurologique observé et/ou mesuré, l'âge gestationnel, le poids à la naissance, les anomalies génétiques, la nécessité d'une ventilation artificielle prolongée, la

présence d'une rétinopathie, ou encore le score Apgar à la naissance prenant en compte l'autonomie respiratoire, le rythme cardiaque, le tonus et la réactivité (Mewes et al., 2006).

1.2. Conséquences sur le développement sensoriel

Les lésions cérébrales décrites précédemment peuvent être associées à des déficits sensoriels. Par exemple, la LPV, retrouvée chez 26% des nouveau-nés prématurés dans l'étude de Trounce, Rutter, et Levene (1986), peut provoquer des dysfonctionnements de l'acuité visuelle, de la vision des couleurs, du traitement visuel cognitif (visuo-spatial, perception simultanée de plusieurs objets visuels, reconnaissance des visages, perception du mouvement et de la profondeur), de la motricité oculaire (nystagmus, strabisme), et une restriction des champs visuels (Jacobson & Button, 2000). En parallèle, les études montrent aussi des différences en termes de compétences sensorielles entre les enfants nés à terme et les enfants nés prématurés. En effet, 37% et 23% des déficits visuels et auditifs dépistés chez les enfants sont causées par une situation de prématurité (Allen, 2008). Au niveau visuel, l'étude EPIPAGE 1 a révélé qu'à 8 ans 26% des enfants nés à terme contre 41% des enfants anciens grands prématurés portaient des lunettes, témoignant de la fréquence des troubles de la réfraction comme l'astigmatisme, l'hypermétropie et la myopie (Marret et al., 2015). Cependant, les déficiences visuelles sévères et modérées sont rares, respectivement de 1 et 2% dans l'étude EPIPAGE 1 (Larroque et al., 2008). Concernant l'audition, l'étude de Meyer et al. (1999) a estimé à 5% le pourcentage des enfants prématurés présentant une perte auditive significative, tandis que ce pourcentage est évalué à 1% dans l'étude EPIPAGE 1 (Larroque et al., 2008).

1.3. Conséquences à long terme sur le développement cognitif

La naissance prématurée peut avoir un impact à long terme sur le développement des compétences cognitives. En effet, 27% des déficits cognitifs dépistés chez les enfants sont associées à une naissance prématurée (Allen, 2008). Ces derniers sont observés quel que soit le statut neurologique à la naissance, ce qui incite à un suivi à long terme pour l'ensemble des enfants prématurés (Charkaluk, Truffert, Fily, Ancel, & Pierrat, 2010; Dall'Oglio et al., 2010). Les compétences cognitives sont qualifiées de globales lorsqu'elles renvoient à des indicateurs globaux, c'est-à-dire qu'une seule mesure implique de multiples processus cognitifs en même temps, et elles sont dites spécifiques lorsque ce n'est pas le cas. Dans

l'étude EPIPAGE 1 (1997), les enfants nés prématurés présentant un déficit cognitif global à l'âge de 5 ans représentaient 41% de ceux nés entre 29-30 SA, 34% de ceux nés entre 31-32 SA, et 12% de ceux nés entre 39-40 SA (Torchin et al., 2015). Concernant le retard mental global, défini par un quotient intellectuel (QI) global inférieur à 70, l'étude EPIPAGE 1 met en évidence une fréquence 4 fois plus élevée à 5 ans chez les enfants anciens grands prématurés que dans la population contrôle des enfants nés à terme (Marret et al., 2015). Dans d'autres études, le taux de déficience globale varie entre 4.4 et 35% comparativement à 0.4% chez les enfants nés à terme (Sayeur, McKerral, & Lassonde, 2011).

Concernant les difficultés cognitives spécifiques, les revues de littérature de Marret et al. (2015) et de Sayeur et al. (2011) ont révélé chez les enfants nés prématurés un retard dans le développement du langage oral, que cela soit sur le versant expressif ou réceptif. De plus, ces difficultés peuvent provoquer par la suite des troubles de l'écriture, ou dysgraphie, et de la lecture, ou dyslexie (Sayeur et al., 2011). En parallèle de ces difficultés, ces revues de littératures mettent aussi en avant des dyscalculies, touchant les compétences en calculs mathématiques. Il a aussi été mis en exergue chez ces enfants de moins bonnes performances aux tâches de mémoire verbale et mémoire visuelle (Caravale, Tozzi, Albino, & Vicari, 2005; Taylor, Minich, Bangert, Filipek, & Hack, 2004), qui sont associées à des difficultés à maintenir en mémoire et à manipuler mentalement l'information spatiale (Vicari, Caravale, Carlesimo, Casadei, & Allemand, 2004).

Concernant les fonctions exécutives, les difficultés dans les compétences de fluences verbales, d'inhibition, de la planification et de mémoire de travail verbale et spatiale, ont été rapportées dans la littérature (Aarnoudse-Moens, Duivenvoorden, Weisglas-Kuperus, Van Goudoever, & Oosterlaan, 2012; Anderson, Doyle, & Victorian Infant Collaborative Study Group, 2004). Elles se retrouvent dès l'âge préscolaire et se maintiennent durant l'âge scolaire. En parallèle, les déficits de l'attention avec ou sans hyperactivité sont aussi fréquemment observés chez les enfants nés prématurés. Ces difficultés peuvent être révélées très précocement, comme le met en évidence l'étude de De Jong, Verhoeven, et Van Baar (2015) menée auprès de nourrissons nés prématurés âgés de 1 an et demi. A l'âge scolaire, malgré une diminution du risque avec l'augmentation de l'âge gestationnel, on observe encore une prévalence de 30% de déficit attentionnel avec ou sans hyperactivité chez les enfants nés entre 35 et 36 SA (Lindström, Lindblad, & Hjern, 2011).

Indépendamment ou non de ces difficultés cognitives, les études révèlent aussi fréquemment dans ces populations des troubles du comportement, par exemple de l'hyperactivité, indépendamment ou non d'un trouble attentionnel, et des troubles des

conduites émotionnelles (Larroque et al., 2008). De plus, la prévalence des troubles du spectre autistique et des évolutions psychiatriques est plus importante dans la population des individus nés prématurés que chez les individus nés à terme (Marret et al., 2015). Par exemple, les troubles comportementaux et les difficultés psychologiques ou psychiatriques concernent entre 20% et 55% des enfants nés prématurés (Sayeur et al., 2011).

1.4. Performances scolaires et soins spécifiques

Les difficultés scolaires sont souvent associées aux troubles précédemment présentés, nécessitant dès lors des prises en charge spécifique. L'étude EPIPAGE 1 menée auprès d'enfants anciens grands prématurés âgés de 8 ans a, par exemple, mis en évidence que 5% des enfants étaient dans une classe ou dans une école spécialisée, 18% avaient redoublé une classe et 77% étaient dans la classe appropriée pour leur âge, contre respectivement 1%, 5% et 94% pour les enfants nés à terme (Larroque et al., 2011; Torchin et al., 2015). De plus, une étude en Angleterre portant sur 6031 enfants âgés de 7 ans montre que 43% des enfants nés entre 28 et 31 SA, 31 % des enfants nés entre 32 et 33 SA, et 21 à 25% des enfants nés entre 33 et 36 SA ont un niveau scolaire estimé insuffisant par les enseignants. En comparaison, seulement 18% des enfants nés à terme ont le même profil scolaire (Chan & Quigley, 2014). Enfin, une autre étude menée auprès d'enfants nés extrêmement prématurés et âgés de 11 ans a révélé que 13% d'entre eux avaient des besoins spécifiques en terme d'apprentissage (Johnson et al., 2009). Ces besoins spécifiques étaient aussi retrouvés dans l'étude EPIPAGE 1 chez des enfants nés grand prématurés, âgés de 5 à 8 ans, qui étaient 55% à avoir reçus des soins spécifiques, comme l'orthophonie et la rééducation physique, contre 38% des enfants nés à terme (Larroque et al., 2011). Le Tableau 4 résume la répartition des différents types de soins en fonction de l'âge gestationnel de ces mêmes enfants.

Tableau 4. Pourcentages de consommation, d'au moins une consultation entre 5 et 8 ans, par type de soins dans la cohorte EPIPAGE 1. Données de Torchin et al. (2015).

		24-28 SA	29-30 SA	31-32 SA	39-40 SA
Type de soins	Psychomotricité	7.0%	3.0%	1.1%	0.9%
	Kinésithérapie motrice	4.7%	1.8%	0.7%	< 0.3%
	Orthophonie	11.1%	7.4%	4.0%	7.3%
	Orthoptie	5.8%	3.8%	1.8%	1.5%
	Psychologue / psychiatre	9.0%	6.9%	3.3%	5.2%

2. Développement neuromoteur et perceptivo-moteur à long terme des enfants nés prématurés

Même s'ils peuvent contribuer aux profils pathologiques associés au développement moteur, il est important de ne pas confondre les troubles perceptivo-moteurs avec les troubles neuromoteurs. Dans cette partie, les troubles neuromoteurs seront définis dans un premier temps, et les exemples de la paralysie cérébrale et des troubles oculomoteurs seront évoqués. Dans un deuxième temps, les troubles perceptivo-moteurs observés dans la population des enfants nés à terme seront décrits, tout d'abord en lien avec un diagnostic de Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC), puis indépendamment de tout diagnostic. Le troisième temps sera consacré aux troubles perceptivo-moteurs observés chez des enfants nés prématurés sans trouble neurologique. Cette dernière partie servira de socle pour présenter l'intérêt des études des compétences perceptivo-motrices des enfants sans trouble neurodéveloppemental.

2.1. Les troubles neuromoteurs

2.1.1. Définition des troubles neuromoteurs

Les troubles neuromoteurs peuvent être classés en deux catégories : les troubles neuromoteurs mineurs et les troubles neuromoteurs complexes. Leur classement dans l'une ou l'autre des catégories se base sur un tableau symptomatologique organisé en groupes de dysfonctionnements évalués par différents tests neurologiques, le plus utilisé étant le test de Touwen (Touwen & Sporrel, 1979). Les groupes de dysfonctionnement, et donc la catégorisation en mineur ou complexe, dépendent aussi de l'âge de l'enfant. Ainsi, chez les enfants de 4 ans jusqu'à la puberté, un trouble neuromoteur mineur sera caractérisé par l'observation d'un ou deux groupes de dysfonctionnement, et un trouble neuromoteur complexe par l'observation de plus de deux groupes de dysfonctionnement (Hadders-Algra, 2002, 2003). Les signes d'appel de ces troubles neuromoteurs concernent aussi bien la motricité globale que la motricité fine. Ainsi, des difficultés à marcher ou à maintenir l'équilibre, ou encore un manque d'aisance dans les activités sportives, peuvent être observées. Par ailleurs, les troubles de la motricité fine entraîneront une maladresse dans la réalisation d'activités graphiques ou d'utilisation de petits outils (Basson, 2014).

2.1.2. Prévalences des troubles neuromoteurs

Les troubles neuromoteurs complexes sont particulièrement associés à un parcours neurologique néonatal atypique avec des lésions cérébrales, ou aux naissances prématurées avant 33 SA. Une comorbidité est aussi souvent observée entre les troubles neuromoteurs complexes et des déficits cognitifs (ex. attentionnel). Cependant, la prévalence de ces troubles varie d'une étude à l'autre. Pour la population générale, d'après une étude menée à Groningen, la prévalence est de 6% des enfants âgés de 9 ans, et 3 à 4% des enfants de 14 ans (Hadders-Algra, 2002, 2003). Concernant uniquement les enfants nés à terme, l'étude EPIPAGE 1 (Arnaud et al., 2007) rapporte une prévalence de 0.7% à 5 ans. Chez les enfants nés prématurés, on retrouve une prévalence plus importante qui varie aussi selon les études citées. Ainsi, d'après l'étude de Jongmans et al., (1997), menée chez les enfants prématurés nés à moins de 35 SA, âgés de 6 ans et sans paralysie cérébrale, on retrouve 16.7% de troubles neuromoteurs complexes. Une autre étude menée auprès d'enfants prématurés, nés avant 33 SA et âgés de 5 ans, évoque une prévalence, quant à elle, de 3.0% (Arnaud et al., 2007).

Concernant les troubles neuromoteurs mineurs, les principaux facteurs de risque sont d'ordre génétique ou résultant d'un stress périnatal (ex. prématurité, asphyxie, stress maternel). L'absence de lésion cérébrale associée laisse supposer des problèmes légers de fonctionnement cérébral. Enfin, un risque modéré de co-morbidité est observé avec des difficultés d'apprentissage et des problèmes de comportement (ex. Trouble Déficitaire de l'Attention Avec ou Sans Hyperactivité ou TDAH). La prévalence de ces troubles varie encore d'une étude à l'autre. Les troubles neuromoteurs mineurs sont présents dans la population générale chez 15% des enfants de 9 ans, et chez 3 à 4% des enfants de 14 ans (Mijna Hadders-Algra, 2002, 2003). Chez les enfants prématurés, nés avant 35 SA et sans paralysie cérébrale, les troubles neuromoteurs mineurs sont de 14.1% à 6 ans (Jongmans et al., 1997). Cependant, une autre étude évoque une prévalence de 41.4% chez les enfants prématurés nés avant 33 SA et âgés de 5 ans (Arnaud et al., 2007).

2.1.3. La paralysie cérébrale

La paralysie cérébrale, notée PC, est un diagnostic clinique qui décrit un groupe de déficits du développement du mouvement et de la posture, entraînant une limitation des activités. Elle peut être attribuée à une perturbation neurologique non progressive qui s'est mise en place au cours du développement cérébral du fœtus ou du nourrisson (Bax et al., 2005; Rosenbaum et

al., 2007). Le diagnostic exclut les désordres moteurs ayant une origine spinale, ou causés par une atteinte des nerfs périphériques, des muscles ou mécanique. Le contrôle moteur anormal est au cœur du diagnostic de la PC. Il se caractérise par une variabilité réduite dans les patterns des mouvements et de la posture en lien avec une coordination des mouvements, et / ou une régulation du tonus musculaires, défectueux. Les déficits moteurs sont souvent accompagnés de déficits du traitement sensoriel (ex. vision, audition), de la cognition (globale et spécifique), de la communication (expression et/ou réception), et / ou du comportement, et /ou un trouble épileptique (rarement la cause) (Bax et al., 2005; Rosenbaum et al., 2007). La PC, dont les déficits se manifestent habituellement avant les 18 mois de l'enfant, résulte de l'interaction de nombreux facteurs de risque, par conséquent la cause ne peut pas être identifiée dans de nombreux cas (Bax et al., 2005; Rosenbaum et al., 2007).

Chez les enfants nés prématurés, les risques de PC sont estimés aux alentours de 0.3 à 0.7% pour les 34-36 SA (Moster, Lie, & Markestad, 2008; Petrini et al., 2009), 1% pour les 32-33 SA, 6-8% pour les 28-32 SA, et à plus de 10% pour les 22-27 SA (Marret et al., 2015), contre 0.1 à 0.2% chez les 37-41 SA (Torchin et al., 2015). Ainsi une étude de Jongmans et al. (1997) met en évidence chez des enfants nés prématurés entre 25 et 34 SA et âgés de 6 ans une prévalence de PC de 14% (Allen, 2008). Toujours dans le contexte de la prématurité, les PC sont majoritairement associées à des LPV et à des hémorragies intraventriculaires sévères observables par le biais de l'échographie transfontanellaire ou d'un scanner à ultrasons. Ainsi, 32% des enfants prématurés avec une PC ont une LPV (Basson, 2014; Olsén, Pääkkö, Vainionpää, Pyhtinen, & Järvelin, 1997).

2.1.4. Les troubles oculomoteurs

Les troubles de l'oculomotricité, soit de la planification et du contrôle des mouvements oculaires, sont des troubles neuromoteurs assez fréquents dans la population des enfants nés prématurés (Mazeau, 2000). Par exemple, l'étude de Cooke, Foulder-Hughes, Newsham, et Clarke (2004) menée auprès d'enfants nés grands prématurés et d'enfants nés à terme, tous âgés de 7 ans, a montré une prévalence de strabisme de 13.6% chez les enfants nés prématurés, contre 1.4% chez les enfants nés à terme. Une autre étude de O'Connor et al. (2002) menée auprès d'enfants nés prématurés et âgés de 10 à 12 ans a révélé une prévalence de strabisme de 20.1% avec un intervalle de confiance à 95% de 15.9% à 25%.

Le nystagmus, qui est un mouvement saccadé des yeux, est quant à lui observé chez 2.4% dans une population d'enfants nés prématurés contre 0.1% dans une population d'enfants nés

à terme, tous âgés entre 5 et 10 ans (Gallo & Lennerstrand, 1991). Les LPV, retrouvées chez 26% des nouveau-nés prématurés dans l'étude de Trounce, Rutter, et Levene (1986), peuvent notamment provoquer des dysfonctionnements de la motricité oculaire (nystagmus, strabisme) (Jacobson & Button, 2000). Ces troubles gênent la saisie manuelle, l'exploration visuelle et l'élaboration des notions spatiales (Mazeau, 2000).

2.2. Le Trouble d'Acquisition de la Coordination

2.2.1. Définition et signes cliniques

Le Trouble d'Acquisition de la Coordination, ou TAC, est un terme proposé lors de la publication du DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000), et soutenu internationalement, pour regrouper les divers et multiples troubles du mouvement observés chez l'enfant. Les signes cliniques du TAC sont très hétérogènes, et concernent la motricité globale et fine. On retrouve de manière générale des retards dans le développement psychomoteur (ex. marche), une maladresse au quotidien et de mauvaises performances dans les activités sportives (Albaret & Chaix, 2011). Lorsque le geste graphique est impacté (Albaret, Zanone, & De Castelnaud, 2000), on parle dès lors de dysgraphie. Le seul point commun ressortant de tous les profils cliniques sont des difficultés dans les processus sensorimoteurs (Vaivre-Douret, Lalanne, & Golse, 2016).

Les habiletés perceptivo-motrices, impliquant ces processus sensorimoteurs, sont évaluées au travers des performances à des tests standardisés comme la M-ABC (Henderson, Sugden, & Barnett, 2007) ou le Bruininks Oseretsky Test of Motor Proficiency (BOTMP, Bruininks, 2005). Les signes cliniques perceptivo-moteurs associés au TAC sont souvent confondus avec les troubles neuromoteurs mineurs car la performance non typique s'accompagne de l'absence d'argument neurologique évident. Enfin, il existe aussi une comorbidité importante entre le TAC et d'autres troubles développementaux comme la Dyslexie ou le TDAH (Dewey, Kaplan, Crawford, & Wilson, 2002).

2.2.2. Critères diagnostics et classification

Les critères de diagnostic du TAC sont établis dans le Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders ou DSM. A ce jour, c'est la 5^{ème} version du DSM (American Psychiatric Association, 2013) qui est utilisée depuis sa publication en Mai 2013 (Tableau 5). D'un point

de vue clinique, et d'après les recommandations du Réseau Régional de Rééducation et de Réadaptation Pédiatrique en Rhône Alpes (Chabloz et al., 2011), le diagnostic de TAC nécessite trois types de bilans : médical (interrogatoire et examen clinique, acquisitions psychomotrices et examen neurologique), psychométrique et paramédical (ergothérapie, psychomotricité, neuropsychologie).

Tableau 5. Critères de diagnostic du TAC selon le DSM-V. Extrait et traduit de American Psychiatric Association (2013).

- | |
|---|
| <p>A. L'acquisition et l'exécution des habiletés de coordination motrice est considérablement en dessous de ce qui est attendu pour l'âge chronologique de l'individu, ses opportunités d'apprentissage de ces habiletés et l'utilisation de ces dernières. Des difficultés se manifestent comme la maladresse (laisser tomber ou percuter des objets) aussi bien qu'une lenteur et une inexactitude des performances d'habileté motrice (attraper un objet, utiliser des ciseaux, écrire, faire du vélo ou participer dans les sports).</p> <p>B. Le déficit d'habiletés motrices du critère A interfère de manière significative et persistante avec les activités quotidiennes appropriées à l'âge chronologique correspondant (prendre soin de soi, être autonome) et impacte la productivité scolaire / académique, professionnelle, et préprofessionnelle, les loisirs et les jeux.</p> <p>C. Le début des symptômes correspond à la période précoce du développement.</p> <p>D. Les déficits des habiletés motrices ne sont pas mieux expliqués par une déficience intellectuelle (désordre du développement intellectuel) ou par un déficit visuel et ne peuvent pas non plus être attribués à une condition neurologique affectant les mouvements (paralysie cérébrale, dystrophie musculaire, désordre dégénératif).</p> <p>Conséquences fonctionnelles : réduction des participations dans les équipes de jeux et de sport, pauvre estime de soi et d'amour propre, problèmes émotionnels et comportementaux, difficultés scolaires, pauvres aptitudes physiques, réduction des activités physiques et obésité.</p> |
|---|

Face à l'hétérogénéité du diagnostic de TAC, une classification a été recherchée. Il a ainsi été proposés trois sous-types de TAC (Vaivre-Douret et al., 2011) : idéomoteur (déficits dans la perception digitale, l'imitation de gestes, et les praxis digitales), visuo-spatial (déficits du contrôle visuomoteur et des constructions motrices avec une composante visuo-spatiale), et mixte avec des comorbidités (déficits dans la coordination motrice des membres supérieurs et inférieurs et une pauvre dextérité manuelle).

En résumé, le TAC a de multiples conséquences possibles sur les apprentissages, induisant ainsi des difficultés de graphisme, d'arithmétique, de géométrie, de lecture, de compréhension de consignes écrites, de recherche visuelle de réponses dans un document, de l'orthographe, ou encore de l'apprentissage des leçons écrites (Vaivre-Douret, 2007). En raison de ces

multiples difficultés, 5 à 6% des enfants diagnostiqués font face à des conséquences importantes sur de multiples plans : affectif (ex. estime de soi), social (ex. victimisation), comportemental (ex. refus scolaire), scolaire et/ou professionnel (Albaret & Chaix, 2011).

2.2.3. Prévalence, facteurs de risque et prématurité

La prévalence du TAC chez les enfants âgés de 5 à 11 ans est estimée à 5-6% avec un ratio garçon/fille allant de 2 pour 1 à 7 pour 1 selon les études. En terme d'étiologie, les causes relevées dans les études sont multiples et peuvent être catégorisées en deux types de facteurs : environnementaux (ex. exposition prénatale à l'alcool, prématurité) ; génétiques et physiologiques (ex. processus neurodéveloppementaux, dysfonctions cérébelleuses). Comme pour la PC, l'origine précise est, par conséquent, rarement identifiée (Albaret & Chaix, 2011; American Psychiatric Association, 2013; Smits-Engelman, Jover, Green, Ferguson, & Wilson, 2017).

Chez des enfants âgés de 8 à 9 ans et nés prématurés avant 28 SA, ou avec un poids de naissance extrêmement bas, l'étude de Davis, Ford, Anderson, et Doyle (2007) a mis en évidence une prévalence de 10% de TAC en utilisant la batterie M-ABC et un test de quotient intellectuel. Dans une autre étude de Goyen et Lui (2009), concernant des enfants âgés de 8 ans et remplissant les mêmes critères d'âge gestationnel ou de poids de naissance, les auteurs ont révélé une prévalence de 30% de TAC en utilisant la même batterie. Il est cependant important de noter que les critères concernant le seuil de décision du diagnostic varient d'une étude à l'autre, pouvant ainsi expliquer les différences de prévalences : Davis, Ford, Anderson, et Doyle (2007) ont choisi comme seuil le 5^{ème} pc, tandis que Goyen et Lui (2009) ont retenu le seuil de 1.5 écart-type.

Parmi les différents types de TAC, le sous-type le plus fréquemment observé chez l'enfant ancien grand prématuré est le profil visuo-spatial, caractérisé par un trouble de l'organisation et de la structuration spatiale. Ce sous-type est souvent associé, dans la population des enfants nés prématurés, à des troubles neurovisuels (Mazeau, 2000; Niel-Bernard, 2011). Enfin, une étude de Barray, Picard, et Camos (2008) comparant des enfants présentant un TAC, nés à terme ou nés prématurés, a mis en évidence que les enfants nés prématurés étaient moins performants que les enfants nés à terme dans les épreuves d'attention visuelle et de précision visuomotrice.

2.3. Troubles perceptivo-moteurs en dehors du diagnostic de TAC

Le diagnostic de TAC nécessite l'évaluation des habiletés perceptivo-motrices. Cependant, elles peuvent aussi être mesurées indépendamment de la recherche d'un diagnostic de TAC. Les outils de ces mesures sont des batteries de tests et des tests standardisés. Il en existe de très nombreux, en voici quelque uns qui seront cités par la suite : la M-ABC version 1 ou 2, le Developmental Test of Visual Motor Integration (VMI), les Bayley Scales of Infant Development (BSID) version 1 ou 2, le BOTMP, ou le Test of Motor Impairment (TOMI).

2.3.1. Prévalence des troubles perceptivo-moteurs chez des enfants nés prématurés

Dans la revue de littérature de Williams, Lee, et Anderson (2009), les auteurs synthétisent les articles portant notamment sur les résultats à la M-ABC, le BOTMP, et le TOMI, d'enfants nés prématurés (< 37 SA), sans paralysie cérébrale, et âgés de 4 à 16 ans. Ils ont ainsi mis en évidence une prévalence de 19% de profils perceptivo-moteurs anormaux, et 21.5% de profils borderline dans cette population. Ce profil « borderline » fait référence à un risque de déficit, tandis que le profil « anormal » souligne un déficit significatif.

La revue de littérature de De Kieviet, Piek, Aarnoudse-Moens, et Oosterlaan (2009), recense, quant à elle, des résultats à la M-ABC, au BOTMP et au BSID, chez des nourrissons et des enfants nés prématurés à un âge gestationnel inférieur ou égal à 32 SA, et / ou avec un poids de naissance inférieur ou égal à 1.50 kg. Ils sont âgés lors de la mesure de 6 mois à 15 ans. Les auteurs n'excluent pas ceux avec une paralysie cérébrale, mais excluent ceux avec une anomalie congénitale. Les scores aux batteries citées ci-dessus sont significativement plus bas chez les enfants nés prématurés que chez les enfants nés à terme. En moyenne les enfants nés prématurés ont des performances inférieures de -0.57 à -0.88 ET en comparaison de celles des enfants nés à terme. Une importante variabilité des performances dans les groupes des enfants nés prématurés est aussi observée.

Cette variabilité dans les performances dépend aussi des tests et batteries utilisées pour mesurer les performances perceptivo-motrices. En effet, dans l'étude de Jongmans et al., (1997), qui concerne des enfants nés prématurés entre 25 et 34 SA, âgés de 6 ans, et sans anomalie congénitale, les performances des enfants sans paralysie cérébrale à la M-ABC ne suivent pas systématiquement les performances au VMI. Le Tableau 6 reprend la synthèse de ces résultats.

Tableau 6. Nombre d'enfants nés prématurés sans paralysie cérébrale (n=156) avec des scores anormaux, borderline et normaux, au VMI et à la M-ABC. Données de Jongmans et al., (1997).

		VMI		
		Anormal (n=15)	Borderline (n=12)	Normal (n=129)
M-ABC	Anormal (n=30)	7	5	18
	Borderline (n=39)	5	4	30
	Normal (n=129)	3	3	81

Par ailleurs, il semblerait que les difficultés perceptivo-motrices identifiées par Williams, Lee, et Anderson (2009) persistent au-delà de 16 ans. En effet, Husby, Skranes, Olsen, Brubakk, et Evensen (2013) ont mesuré les habiletés perceptivo-motrices, impliquées dans des tâches standardisées de motricité fine (Grooved Pegboard test, Trail Making Test-5, M-ABC2) ou globale (High-level Mobility Assessment Tool, M-ABC2), de jeunes adultes de 23 ans nés prématurés avec un petit poids de naissance (inférieur ou égal à 1500g) et sans paralysie cérébral. Ces mesures ont été comparées à celles de jeunes adultes du même âge nés à terme. Les résultats ont mis en évidence de moins bonnes performances chez les jeunes adultes nés prématurés, et ceci dans les tâches impliquant la motricité fine, comme la motricité globale.

Les troubles perceptivo-moteurs, sans atteinte neurologique, sont souvent confondus avec les troubles neuromoteurs mineurs, qui eux sont associés à une atteinte neurologique (Hadders-Algra, 2003). Dans l'étude de Jongmans et al. (1997), les auteurs mesurent les habiletés perceptivo-motrices à l'aide de la M-ABC, et les performances neuromotrices à l'aide du test de Touwen précédemment cité, auprès d'une population d'enfants nés prématurés âgés de 6 ans. Les graphiques de la Figure 15 reprennent les principaux résultats. On peut dès lors noter qu'il y a majoritairement un recoupement entre les performances à la M-ABC et au Touwen. On retrouve 66% de profils perceptivo-moteurs normaux pour un profil neuromoteur normal, et 92% de profils moteurs anormaux et borderline pour un profil neuromoteur avec un trouble complexe.

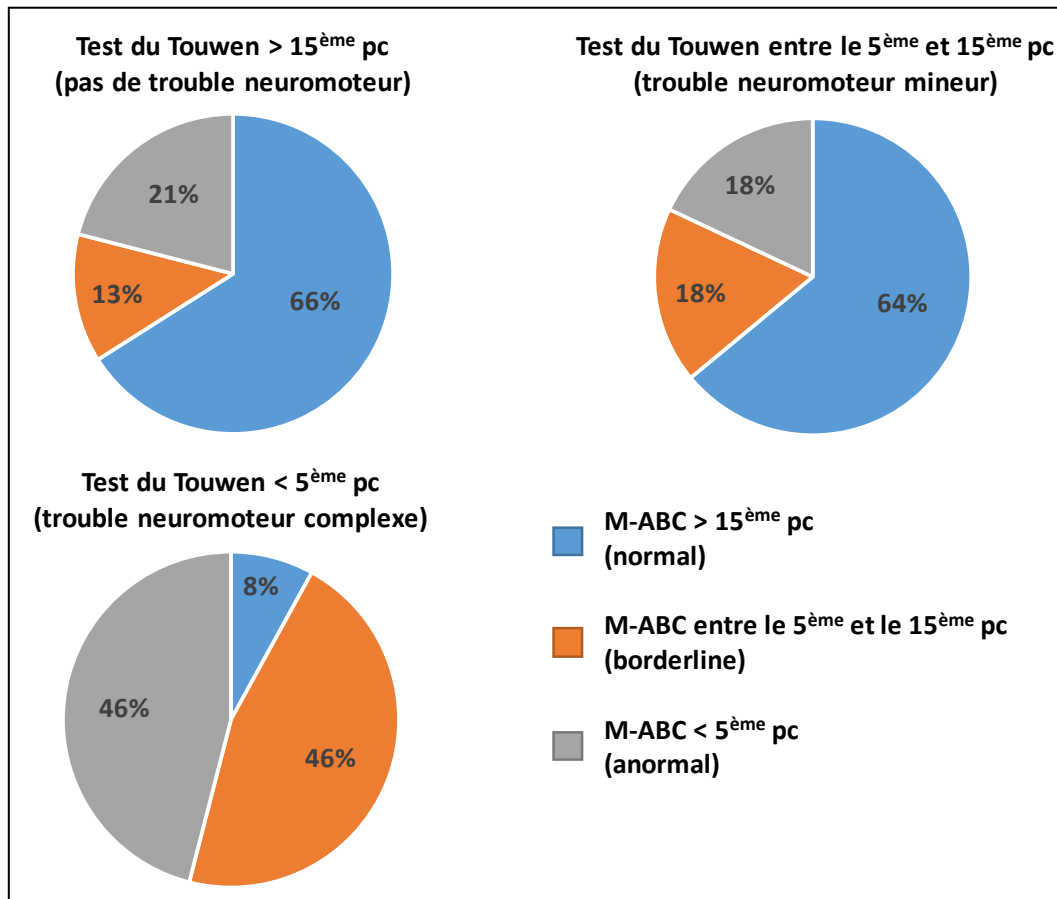


Figure 15. Pourcentage de profils perceptivo-moteur normaux, borderline et anormaux, en fonction du profil neuromoteur chez des enfants nés prématurés âgés de 6 ans. Données de Jongmans et al. (1997).

3. Développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans trouble neurologique

L'absence de lésion cérébrale ne garantit pas un développement moteur typique, et n'exclut notamment pas les troubles neurologiques mineurs, ou les difficultés perceptivo-motrices (Jongmans et al., 1997). Ainsi, une autre approche complémentaire de l'étude des trajectoires développementales associées aux habiletés perceptivo-motrices des enfants nés prématurés seraient d'étudier les enfants nés prématurés sans lésion cérébrale majeure (imagerie) et sans trouble neurologique (examen clinique).

3.1. Résultats des comparaisons entre les groupes d'enfants nés prématurés et d'enfants nés à terme

Dans les études de Torrioli et al. (2000), Van Braeckel, Butcher, Geuze, Bos, et Bouma, (2008) et Van Braeckel et al. (2010), les auteurs ont évalué avec la M-ABC version 1 des enfants nés prématurés sans trouble neurologique et à des enfants nés à terme âgés entre 4 et 11 ans. Ces trois études ont mis en évidence que les enfants nés prématurés obtenaient des scores globaux (scores totaux) plus bas que les enfants nés à terme. Dans l'étude de De Rose et al. (2013), la version 2 de la même batterie a été utilisée auprès d'enfants nés prématurés ou nés à terme âgés de 3 ans. Les résultats ont de nouveau révélé des scores totaux plus bas pour les enfants nés prématurés.

Concernant les habiletés motrices globales, qui impliquent l'ensemble du corps, deux études ont montré des résultats intéressants. Dans l'étude de De Rose et al. (2013), les sous-tests évaluant l'équilibre n'ont pas mis en exergue de différence entre le groupe des enfants nés prématurés et le groupe des enfants nés à terme. Ce résultat est confirmé par l'étude de Pietz et al. (2004) à l'aide du test Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) (Kiphard & Schilling, 2007) utilisé auprès d'enfants nés à terme et d'enfants nés prématurés âgés de 7 ans. En résumé, les résultats des deux études n'ont pas montré de différence entre le groupe des enfants nés prématurés et le groupe des enfants nés à terme pour les habiletés motrices globales.

Concernant les habiletés motrices fines, qui impliquent un contrôle manuel, le travail de De Rose et al. (2013) a montré des différences significatives entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme pour les sous-tests nécessitant d'atteindre une cible ou encore pour les sous-tests de dextérité manuelle. D'autres études ont proposé la VMI à des enfants âgés 3 à 7 ans et ont révélé de moins bonnes performances pour les groupes des enfants nés prématurés (Caravale et al., 2005; Liebhardt, Sontheimer, & Linderkamp, 2000; Pietz et al., 2004; Torrioli et al., 2000). Dans les études de Liebhardt et al. (2000) et Caravale et al. (2005), des tâches standardisées de construction ont été proposées à des enfants de 3 à 4 ans pour évaluer les habiletés motrices fines. Les résultats ont montré que les enfants nés prématurés étaient moins performants que les enfants nés à terme. Liebhardt et al. (2000) ont aussi utilisé une tâche de découpage dérivée de la Lincoln-Oseretsky-Scale (Sloan, 1955). Les résultats ont montré que les enfants nés prématurés faisaient plus d'erreurs que les enfants nés à terme. Enfin, dans l'étude de Pietz et al. (2004), le test Fine motor skills of the Motorische Leistungsserie (MLS) a été utilisé auprès d'enfants de 7 ans, révélant, dans la tâche

nécessitant d'atteindre une cible, une lenteur des enfants nés prématurés en comparaison de ceux nés à terme.

3.2. Différences interindividuelles dans les groupes d'enfants

Une analyse des différences interindividuelles au sein des groupes d'enfant des études de De Rose et al. (2013) Pietz et al., (2004) et Torrioli et al. (2000) concernant les scores à la M-ABC et au VMI a montré une plus grande proportion de profils anormaux ou limites dans les groupes des enfants nés prématurés en comparaison des groupes d'enfants nés à terme (Tableau 7). De plus, la distribution des profils pour la M-ABC, les études de Torrioli et al. (2000) et De Rose et al. (2013) était très différente. Les proportions différentes des scores normaux et anormaux ou limites entre les deux études pourraient s'expliquer par des critères d'inclusion différents des participants (rétinopathie de grade II pour l'étude de De Rose et al. (2013) et vision en 3D anormale pour l'étude de Torrioli et al. (2000)). En résumé, les différences interindividuelles sont plus importantes dans les groupes des enfants nés prématurés que dans les groupes des enfants nés à terme. Car, même si la majorité des enfants nés prématurés ont des scores normaux aux tests perceptivo-moteurs, une proportion plus importante présente des scores limites ou anormaux.

Tableau 7. Distribution des résultats des enfants nés prématurés sans trouble neurologique et des enfants nés à terme. L'étude Torrioli et al. (2000) ne détaille pas la répartition des scores limites et anormaux. SDS : Score standard de déviation.

Études	Tests standardisés	Groupes	Score normal ou SDS normal	Scores borderline scores ou SDS modérément sous la normal	Scores anormal ou SDS extrêmement sous la norme
De Rose et al. (2013)	M-ABC2	Prématurés	60%	14.3%	12.4%
		Nés à terme	92.2%	5.7%	0.9%
Torrioli et al. (2000)	M-ABC	Prématurés	29.4%	70.6%	
	VMI	Prématurés	69.5%	30.5%	
Pietz et al. (2004)	VMI	Prématurés	64%	36%	0%
		Nés à terme	82%	16%	2%

3.3. Implication des processus cognitifs et perceptifs

Pour expliquer les différences d'habiletés perceptivo-motrices qui ont été mises en évidence entre des enfants nés prématurés sans trouble du développement et des enfants nés à terme, il est intéressant de questionner l'implication de processus non moteurs comme les processus cognitifs et perceptifs. Par exemple, l'étude de Torrioli et al. (2000) a rapporté un effet de troubles visuels de la profondeur (3D) sur les performances à la VMI et à la M-ABC. En effet, une vision anormale en 3D était associée à de moins bonnes performances dans les deux batteries et l'exclusion des enfants concernés par ce déficit faisait disparaître la différence initialement observée entre les deux groupes d'enfants.

Les possibles liens avec le QI comme mesure d'intelligence cognitive globale peuvent aussi être étudiés. Néanmoins, dans l'étude de Caravale, Tozzi, Albino, et Vicari (2005), il n'a pas été montré d'effet du QI global sur les performances perceptivo-motrices des enfants nés prématurés. Cette observation a été confirmée dans les études de Van Braeckel et al. (2008, 2010) avec des enfants nés prématurés âgés de 7 à 11 ans. Ainsi, malgré une différence observée entre le groupe d'enfants nés prématuré et le groupe d'enfants nés à terme concernant le score global du QI, aucun lien n'a été retrouvé avec la performance à la tâche perceptivo-motrice.

L'implication des processus attentionnels sur les habiletés perceptivo-motrices a notamment été mis en exergue par Dewey et al. (2002) chez une population d'enfants ayant reçu un diagnostic de TAC. Or, Liebhardt, Sontheimer, et Linderkamp (2000) ont montré, par le biais d'une méthode d'observation non standardisée, que la concentration générale des enfants nés à terme était meilleure que celle des enfants nés prématurés. Cette observation avait aussi été faite dans la recherche de De Rose et al. (2013), soulignant une tendance des enfants nés prématurés à être distraits et à avoir une concentration de courte durée. De plus, Torrioli et al. (2000) ont mis en évidence des compétences d'attention spatiale plus faibles dans le groupe des enfants nés prématurés en comparaison du groupe des enfants nés à terme. A l'opposé de l'ensemble de ces résultats, seule l'étude de Van Braeckel et al. (2010) n'a pas révélé de différence entre les groupes d'enfants dans les scores standards concernant l'attention du questionnaire Child Behavior Checklist (Achenbach, 1999). Ainsi, une majorité d'études ont montré que des processus cognitifs (ex. attention) et perceptifs (ex. vision stéréoscopique) peuvent impacter négativement les habiletés perceptivo-motrices. Il pourrait dès lors être pertinent de tester le fonctionnement de ces processus en parallèle de l'examen des habiletés perceptivo-motrices.

3.4. Implication des processus perceptivo-moteurs

Concernant les processus perceptivo-moteurs, les études de Van Braeckel et al. (2008, 2010) ont utilisé une tâche de pointage chez des enfants nés prématurés sans trouble neurologique et des enfants nés à terme âgés de 7 à 10 ans. Si les résultats n'ont pas montré de différence entre les deux groupes d'enfants en termes de précision finale de l'action de pointage, il est apparu des différences au niveau des temps de réaction, de mouvement et d'accélération qui étaient plus longs chez les enfants nés prématurés. Les auteurs en ont conclu que les processus visuomoteurs pouvaient être moins efficaces chez les enfants nés prématurés que ceux des enfants nés à terme, mais qu'une forme de compensation permettait d'aboutir à la réalisation précise de la tâche.

Dans leur étude longitudinale, Van Braeckel et al. (2010) ont aussi montré chez les enfants nés à terme une transition à l'âge de 8 ans dans le contrôle moteur se traduisant par un allongement du temps de décélération lors du pointage. Ce résultat a pu être interprété comme le passage d'un traitement indépendant des informations visuelle et proprioceptive, utilisées comme feedback pour contrôler le mouvement, à un traitement intégratif de ces informations sensorielles (e.g. Chicoine, Lassonde, & Proteau, 1992). Par ailleurs, après l'âge de 8 ans chez les enfants nés à terme, les mesures de la durée d'accélération du mouvement ont montré une amélioration des processus s'appuyant sur les conséquences sensorielles du mouvement (processus feedforward). Dans le groupe des enfants nés prématurés, aucune transition n'a été observée à 8 ans. De plus, les caractéristiques du mouvement de pointage ont révélé que les processus dits feedforward étaient utilisés chez eux de manière dominante dans le contrôle du mouvement et ceci dès l'âge de 7 ans.

3.5. Conclusion et perspectives

Les résultats synthétisés dans cette partie ont mis en évidence que la majorité des enfants nés prématurés sans trouble neurologique avaient des scores dans la norme aux tests standardisés. Par ailleurs, aucune différence n'a été mise en exergue pour les habiletés perceptivo-motrices impliqués dans la motricité globale (ex. tenir en équilibre sur un pied). Cependant, des différences significatives ont été montrées pour les tests évaluant les habiletés perceptivo-motrices impliqués dans la motricité fine (ex. manipulation d'objets). Les résultats ont aussi révélé une plus importante hétérogénéité des scores aux tests standardisés évaluant les habiletés perceptivo-motrices impliqués dans la motricité fine dans la population des

enfants nés prématurés sans trouble neurologique en comparaison des enfants nés à terme. L'ensemble de ces observations suggèrent un contrôle du mouvement moins performant chez ces enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme, ainsi que des trajectoires développementales différentes des processus perceptivo-moteurs, et ceci malgré des scores aux tests standardisés se situant dans la norme attendue pour leur âge.

Ces résultats pourraient être interprétés en s'appuyant sur les travaux de Annaz, Karmiloff-Smith, et Thomas (2008) qui avancent l'existence de processus adaptatifs qui expliqueraient qu'un score normal aux tests standardisés n'implique pas nécessairement que les processus sous-jacents soient aussi efficaces. Ainsi, des scores situés dans la norme pourraient être le résultat de stratégies alternatives et de mécanismes de compensations s'appuyant sur des processus différents. Par conséquent, la compréhension des mécanismes d'émergence des troubles perceptivo-moteurs associés à des trajectoires développementales déviées suite à une naissance prématurée pourrait aussi passer par l'étude des habiletés perceptivo-motrices d'individus nés prématurés sans trouble observé. Caractériser les processus perceptivo-moteurs mis en œuvre chez ces individus pourrait ainsi servir de pistes de prise en charge des individus nés prématurés présentant des troubles perceptivo-moteurs. Cette prise en charge pourrait dès lors être constituée de programmes de prévention (ex. stimulations sensorimotrices) et/ou de rééducation perceptivo-motrice.

Encadré 5 - Informations clés du Chapitre V

La naissance prématurée a des conséquences à court comme à long terme sur le développement. On retrouve notamment à long terme des conséquences sur le développement cérébral, et ceci en absence ou en présence de lésion, mais aussi sur le fonctionnement sensoriel. Des conséquences sont aussi observées sur le développement cognitif. Par ailleurs, le développement moteur n'est pas épargné. Par exemple, des troubles neuromoteurs sont relevés lorsqu'un trouble neurologique vient perturber l'activité motrice. Les troubles perceptivo-moteurs, quant à eux, sont classiquement décrits dans le cadre d'un diagnostic de TAC, et ils peuvent aussi être observés chez une minorité d'enfants nés prématurés sans trouble neurologique. Par ailleurs, dans cette même population d'enfants nés prématurés, des processus perceptivo-moteurs fonctionnant différemment ont été mis en évidence dans la réalisation d'une tâche de contrôle visuomoteur en comparaison d'enfants nés à terme, et ceci malgré des performances finales similaires entre les deux groupes. Ces résultats soulèvent l'intérêt d'étudier les caractéristiques des habiletés perceptivo-motrices des enfants nés prématurés sans trouble neurodéveloppemental dans l'objectif de comprendre au mieux les trajectoires développementales de ces habiletés dans le contexte d'une naissance prématurée.

**OBJECTIF – HYPOTHÈSE –
MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE**

Chapitre VI. Hypothèse et méthodologie

1. Objectif et hypothèse

1.1. Objectif

L'objectif de ce travail de recherche était d'étudier les processus perceptivo-moteurs chez des enfants nés prématurés d'âge scolaire sans diagnostic de trouble du développement. Afin d'étudier les caractéristiques de ces processus, trois tâches ont été choisies, ciblant différentes habiletés perceptivo-motrices. Concernant les habiletés motrices fines, deux tâches ont été proposées : une tâche de discrimination perceptive dans les modalités haptique et visuelle évaluant la perception des équivalences intermodalitaires ; et une tâche de poursuite visuomanuelle s'intéressant aux ajustements temporels des couplages perception-action. Concernant les habiletés motrices globales, une tâche d'équilibre statique, permettant l'étude de l'implication des informations visuelles, proprioceptives et vestibulaires dans le contrôle postural, a été choisie.

1.2. Hypothèse

L'hypothèse générale est que les enfants nés prématurés auraient une motricité caractérisée par des signatures spécifiques, et ceci même dans le cas où ils ne présentent aucun trouble du développement. En effet, dans le contexte d'une naissance prématurée, les couplages perception-action, mobilisés dans les interactions de l'organisme avec son environnement, seraient influencés par des expériences sensorielles, multisensorielles et sensorimotrices atypiques. Les rares travaux menés chez l'enfant né prématuré ne présentant aucun trouble neurologique permettent d'avancer que des délais visuomoteurs plus longs étaient attendus chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme dans une tâche de poursuite visuomanuelle. Les expériences atypiques vécues pendant la période périnatale pourraient aussi aboutir à une moins bonne perception des équivalences intermodalitaires chez les enfants nés prématurés dans une tâche de discrimination perceptive. Bien que les résultats des tests standardisés n'aient pas révélé de différence dans des tâches de motricité globale, l'utilisation de nouveaux outils et mesures du contrôle postural dans une tâche d'équilibre pourraient mettre en évidence des stratégies différentes. Cette hypothèse générale sera

détaillée dans les différentes parties expérimentales en prenant en compte le caractère novateur de l'étude menée.

2. Méthodologie générale du protocole

Dans cette partie, les méthodes de recrutements des enfants, les critères d'inclusion, le déroulement des inclusions en fonction des étapes du protocole, ainsi que les caractéristiques des populations seront précisées. Ensuite, le déroulement temporel du protocole sera présenté. Et enfin, les tests et questionnaires utilisés, standardisés et non standardisés, seront exposés.

2.1. Méthodes de recrutement

Le protocole associé au projet PREMASENS (« PREMA » pour prématuré et « SENS » pour sensorimoteur) a reçu les autorisations du CPP, du CCTIRS et de la CNIL avant son lancement. Ces dernières sont détaillées dans les Annexes du manuscrit.

2.1.1. Modalités de recrutement des enfants nés à terme

Suite à l'obtention d'un accord de principe du personnel administratif et pédagogique des écoles pour participer au projet de recherche, une autorisation de l'inspection académique a été demandée. Une fois cette autorisation accordée, une présentation du projet a été faite auprès des enfants dans les classes et un premier courrier d'information a été transmis aux parents dans le même temps qu'un premier accord de participation. Un premier délai de réflexion de 15 jours était accordé, puis le nombre de familles intéressées et de refus était communiqué par l'équipe éducative.

Pour les familles souhaitant participer, les différents accords de participation, de communication des coordonnées, ainsi que différents questionnaires à remplir leur ont été transmis. Un deuxième délai d'une semaine de réflexion était accordé puis les documents étaient récupérés pour organiser, avec l'équipe éducative, la participation des enfants lorsqu'ils rentraient bien dans les critères d'inclusion. Les passations se sont effectuées au sein des écoles sur le temps scolaire, dans une salle dédiée et parfois dans les couloirs pour les tests nécessitant plus d'espace. Des compte-rendus des résultats des enfants aux tests standardisés ont été rédigés et communiqués à la demande des familles. Enfin, un compte-

rendu de l'ensemble du projet a été rédigé de manière à rendre les résultats de l'étude accessibles, puis a été remis aux écoles qui ont participé au projet. Les recrutements des enfants nés à terme se sont étalés sur deux années scolaires du 24.04.2017 au 30.01.2018 (9 mois) et ont impliqué 3 écoles caennaises.

2.1.2. Modalités de recrutement des enfants nés prématurés

L'ensemble des enfants nés prématurés ont été pris en charge par le service de Néonatalogie de Caen. Le secrétariat de Néonatalogie du CHU de Caen et le médecin responsable du suivi des enfants nés prématurés ont tout d'abord fait une première sélection des familles concernées en fonction de l'âge gestationnel à la naissance, de la date de naissance, ainsi qu'en fonction des éléments cliniques en lien avec le suivi des enfants au CHU. Les parents ont ensuite été contactés par le secrétariat pour recueillir les informations associées aux critères d'inclusion et les éventuelles contre-indications. Une fois ces critères d'inclusion validés et l'accord des familles obtenues, un courrier était envoyé à ces dernières avec l'ensemble des papiers à remplir et à envoyer directement à mon bureau à la Maison de la Recherche en Sciences Humaines (MRSH, Campus 1, Université de Caen). En tout, quatre vagues d'envois de courriers ont été effectuées de Mars 2017 à Juin 2018.

Une fois l'ensemble des documents remplis et réceptionnés à la MRSH, la participation était organisé par téléphone avec les familles. Comme les passations de ces enfants se déroulaient dans une salle dédiée de la MRSH, la sécurité du Campus était prévenue de la venue des familles afin qu'elles puissent accéder au parking. Concernant les résultats de la participation de chaque enfant, un compte-rendu individualisé a été envoyé aux familles et au CHU de Caen, et enfin un compte-rendu des résultats généraux de l'étude, rédigé de manière accessible, a été envoyé à l'ensemble des familles la fin de l'analyse et du recueil des données. Les recrutements des enfants nés prématurés se sont étalés du 22.03.2017 au 10.09.2018 (18 mois).

2.2. Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion se divisent en deux catégories : les critères accessibles avant la participation de l'enfant, et les critères accessibles seulement après la participation de l'enfant.

2.2.1. Critères d'inclusion avant la participation

L'ensemble des enfants étaient âgés de 8 ans 0 mois à 8 ans 11 mois lors de leur participation. Les critères d'inclusion concernant les enfants nés à terme étaient les suivants:

- Né(e) à 37 SA ou plus
- Sans maladie génétique, malformation congénitale, problème neuromusculaire ou biomécanique
- Aucun trouble neurodéveloppemental ou trouble spécifique des apprentissages (TDAH, Dyslexie)
- Actuellement aucun suivi médical ou paramédical spécifique et aucune rééducation en cours
- Acuité visuelle normale ou corrigée, aucun déficit auditif

Les critères d'inclusion concernant les enfants nés prématurés sont pour certains communs au groupe des enfants nés à terme et pour d'autres plus spécifiques car en lien avec la naissance prématurée de ces enfants :

- Né(e) entre 28 et 32 SA incluses
- Examen neurologique normal établi dans le service de Néonatalogie à la naissance
- Examens pédiatriques normaux par les médecins responsables du suivi
- ETF effectuée(s) dans le service de réanimation et/ou de soins intensifs normale(s) ou sans hémorragie supérieure au stade I
- Pas de maladie génétique, malformation congénitale, problème neuromusculaire ou biomécanique
- Aucun trouble neurodéveloppemental ou trouble spécifique des apprentissages (TDAH, Dyslexie), signalé par les parents ou mis en évidence dans le questionnaire du Conners-3
- Actuellement aucun suivi médical ou paramédical spécifique et aucune rééducation en cours
- Acuité visuelle normale ou corrigée, pas de rétinopathie, aucun déficit auditif

Le médecin responsable du suivi des enfants nés prématurés s'assurait en amont que les enfants ne présentaient pas de déficit sensoriel auditif ou somesthésique, ou de trouble moteur majeur. Les parents pouvaient aussi déclarer toutes difficultés médicales ou paramédicales. Enfin, l'âge était calculé en fonction de la date du RDV et de la date de naissance indiquée dans les papiers d'accord de participation remplis par les parents.

2.2.2. Critères d'inclusion après la participation :

La liste des critères d'inclusion qui concernaient les deux groupes d'enfants et qui étaient vérifiés suite aux recueils et à l'analyse des données cliniques était la suivante :

- Score total au M-ABC2 égal ou supérieur au 16^{ème} percentile
- Score au questionnaire M-ABC2 en zone verte
- Aucune difficulté visuo-perceptive observée au test des Figures identiques du Protocole Montréal-Toulouse d'Evaluation des Gnosies Visuelles (PEGV)
- Aucune difficulté visuo-spatiale observée au test des Flèche de la batterie Developmental Neuropsychological Assessment version 2 (NEPSY-2)
- Aucune difficulté visuomotrice lors du test Précision visuomotrice de la NEPSY-2

Dans le cas de la participation de jumeaux, ou de jumelles, si les deux enfants remplissaient l'ensemble des critères d'inclusion, seules les données d'un des deux étaient retenues pour les analyses. Le participant retenu était alors sélectionné complètement au hasard parmi les deux jumeaux ou jumelles.

2.3. Arbres d'inclusion et caractéristiques des populations

Dans cette partie, l'évolution des effectifs dans les groupes d'enfants au cours du protocole sera présentée sous forme de schémas.

2.3.1. Groupe des enfants nés à terme

119 familles (aucun jumeau) ont été initialement sollicitées. Sur ces 119 familles, 68% ont exprimé le souhait de participer au protocole. Par la suite, 81.5% de ces familles ont envoyé des dossiers complets. Enfin, lorsque les critères d'inclusion ont été appliqués, 89% des enfants qui ont participé ont pu être inclus dans le groupe final des enfants nés à terme. Les 6 autres enfants ne remplissaient pas les critères d'inclusion (ex. scores faibles au M-ABC2). Au total, le rapport entre le nombre de familles sollicitées et le nombre d'enfants inclus est de 45.3%. La Figure 16 reprend l'ensemble des chiffres précédemment énoncés.

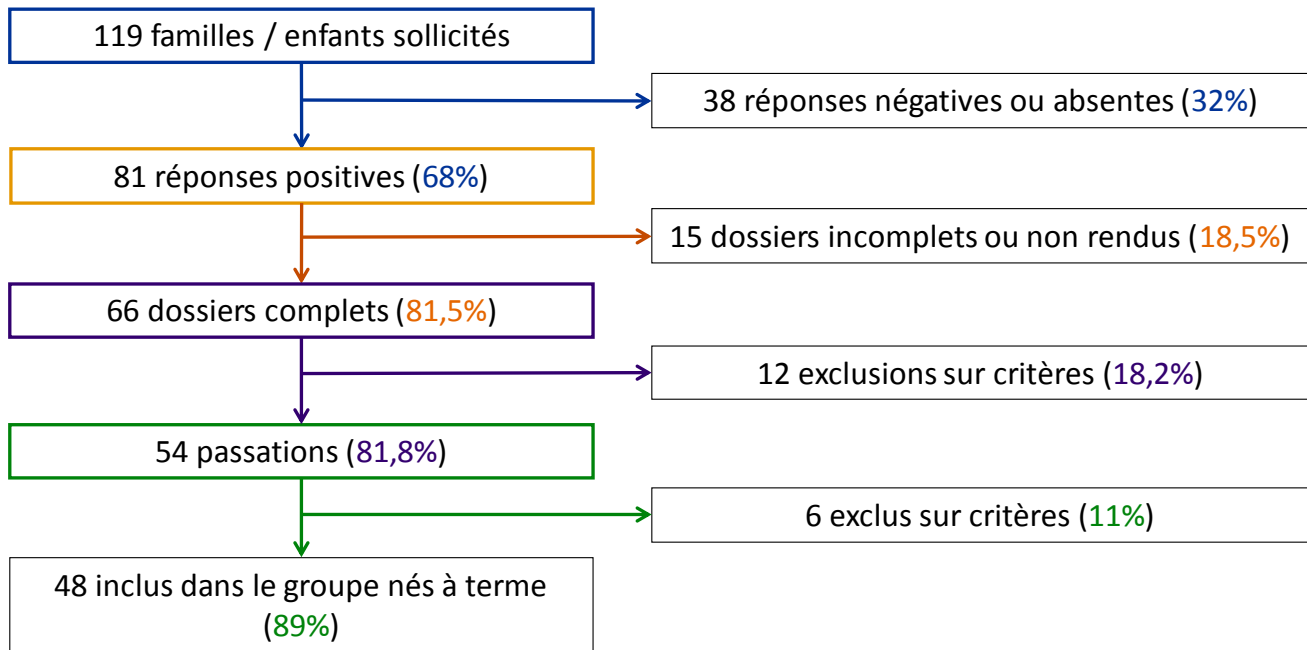


Figure 16. Arbre reprenant l'ensemble des chiffres de la sollicitation des familles jusqu'à l'inclusion des enfants nés à terme. Le code couleur du pourcentage indique à quel encadré il renvoie.

2.3.2. Groupe des enfants nés prématurés

186 enfants ont été initialement ciblés. Sur ces 186 enfants, 17.8% ont été exclus suivant les critères d'inclusion, 4.8% avaient une adresse postale erronée, et 29.0% ont renvoyé le dossier complet. Pour les dossiers reçus qui concernaient 54 enfants, 52 enfants ont participé au protocole. Les deux autres enfants n'ont pas participé car les familles ne sont pas venues au RDV. Sur les 52 enfants qui ont participé, 27% ont été exclus suivant les critères d'inclusion (ex. scores faibles au M-ABC2, difficultés scolaires), 11,5% de jumeaux ont été exclus, et 61.5% ont été inclus dans le groupe final des enfants nés prématurés. Au total, le rapport entre le nombre d'enfants ciblés et le nombre d'enfants inclus est de 17.2%. La Figure 17 reprend l'ensemble des chiffres précédemment énoncés.

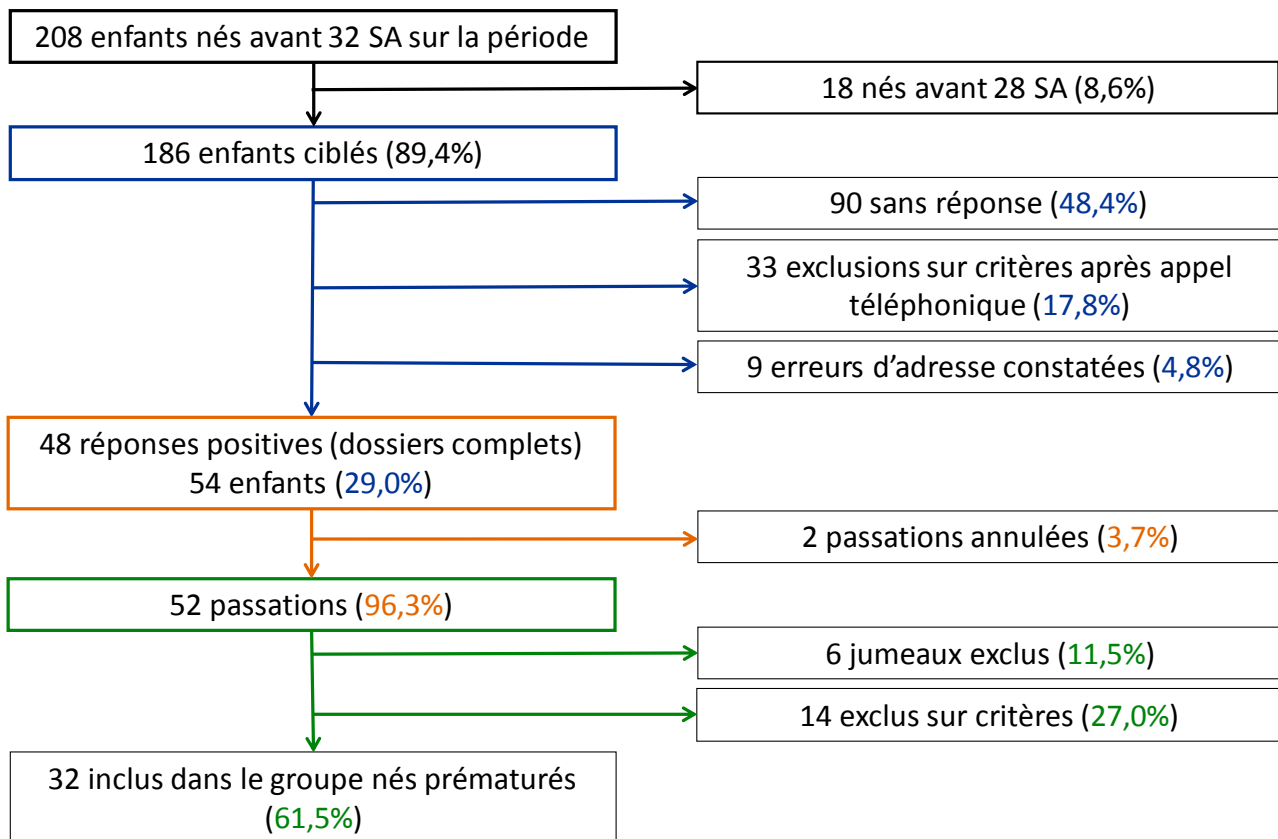


Figure 17. Arbre reprenant l'ensemble des chiffres de la sélection des familles à solliciter jusqu'à l'inclusion des enfants nés prématurés. Le code couleur du pourcentage indique à quel encadré il renvoie.

2.3.3. Caractéristiques générales des population d'enfants

La présentation générale des deux groupes est détaillée dans le Tableau 8 ci-dessous. La différence entre les effectifs est liée aux difficultés plus importantes de recrutement des enfants nés prématurés (taux de 23% d'inclusion contre 45.3% chez les enfants nés à terme). Tous les enfants décrits dans ce tableau remplissaient les critères d'inclusion détaillés dans la section précédente. Les enfants nés à terme sont nés entre le 04.07.2008 et le 19.01.2010, tandis que les enfants nés prématurés sont nés entre le 22.03.2008 et le 31.08.2010. Tous avaient l'âge requis au moment des passations.

Tableau 8. Description succincte des caractéristiques des enfants inclus dans le protocole PREMASENS. Dans ce tableau sont précisés, lorsque c'est possible, les moyennes, écart-types (ET) et étendues des valeurs.

Groupes	Sexe (Filles / Garçons)	Latéralité manuelle (Droite/Gauche / Ambidextre)	Âge gestationnel moyen (ET / étendue) en SA	Âge moyen à la participation (ET / étendue)	Poids de naissance moyen (ET / étendue) en g	Taille de naissance moyenne (ET / étendue) en cm
Nés à terme (NT) N = 48	25/23	45/2/1	39.40 (1.25 / 37-41)	8 ans 5 mois (3 mois / 8 ans 0 mois-8 ans 11 mois)	3362.71 (438.89 / 2590- 4400)	49.41 (2.10 / 44-54)
Nés prématurés (PT) N = 32	15/17	27/3/2	31.01 (1.32 / 28-32)	8 ans 6 mois (3 mois / 8 ans 0 mois-8 ans 11 mois)	1475.94 (330.02 / 770-2040)	40.19 (3.23 / 33-47)

Il a été délibérément choisi de ne pas faire d'analyse statistique de comparaison des deux groupes à cet endroit du manuscrit car des sous-populations ont été utilisées pour deux des trois tâches de recherche proposées dans ce travail de recherche. Ainsi, pour éviter les répétitions, les descriptifs précis des populations concernées et les statistiques de comparaison seront présentés dans la partie méthodologie de chaque tâche.

2.4. Déroulements temporels du protocole

La totalité du protocole a duré entre 1h30 et 1h45 en fonction des enfants. Suite aux contraintes matérielles et temporelles imposées, tous les enfants n'ont pas pu passer le protocole de la même façon. Les différents découpages du protocole seront décrits dans la partie suivante.

2.4.1. Enfants reçus à la MSRH

Pour les enfants reçus à la MRSH, le protocole se déroulait en une seule fois, les tâches s'effectuant les unes à la suite des autres. La Figure 18 décrit le découpage temporel du protocole en précisant l'ordre et la durée des différentes tâches proposées. En fonction de l'avancée des recrutements certains enfants n'ont pas eu besoin d'effectuer toutes les tâches, réduisant ainsi la durée du protocole. Lorsque l'ensemble du protocole était proposé à

l'enfant, il était nécessaire d'anticiper 45 minutes d'installation, puis de compter 40 minutes de désinstallation à la fin de la passation. Dans la Figure 18, il est aussi indiqué un temps d'accueil et de débriefing auprès des familles. Ce temps variait en fonction des attentes, des résultats aux tests, ainsi que des questions éventuelles.

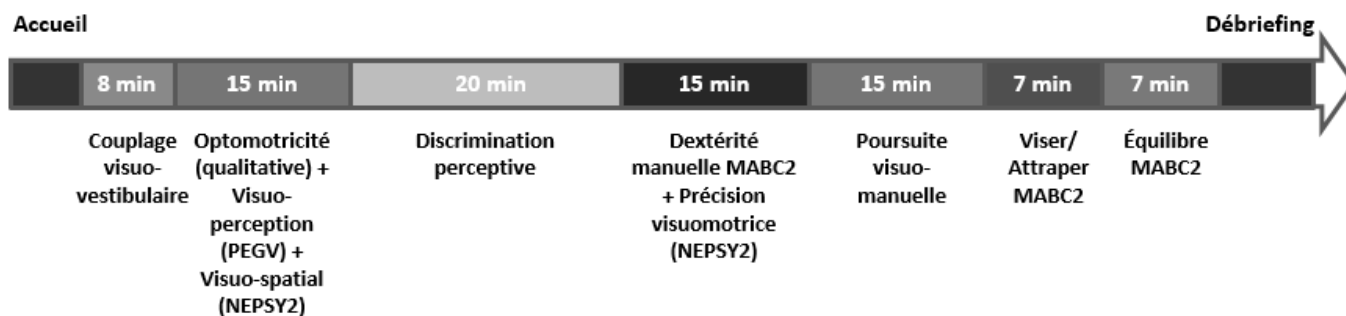


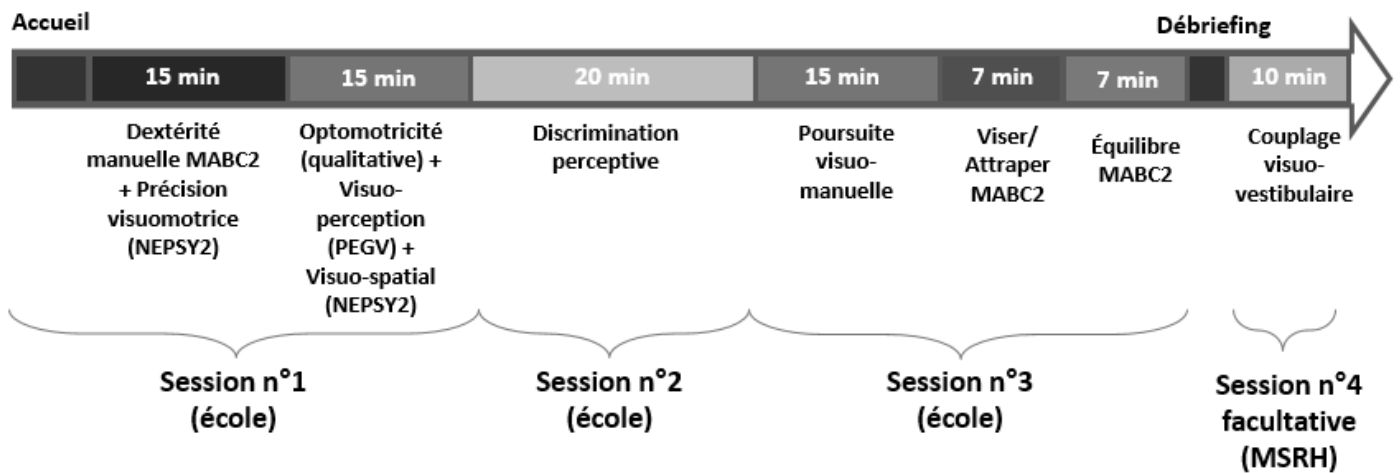
Figure 18. Déroulement temporel du protocole pour les enfants reçus à la MSRSH

2.4.2. Enfants observés dans les écoles

Pour ce qui concernait les enfants observés dans les écoles, il n'était pas possible que chaque enfant s'absente 1h45 de suite de la classe et le rythme de l'enfant était respecté en évitant les temps de pause (récréation, repas). Le protocole a donc été découpé en différentes sessions qui ont aussi évoluées en fonction de l'avancée du recrutement. La Figure 19 reprend les deux configurations temporelles du déroulement du protocole. Enfin, le matériel nécessaire à la passation d'une des tâches ne pouvait pas être installé dans les écoles. Par conséquent, une partie du protocole était obligatoirement facultative et impliquait le déplacement des familles à la MRSRSH sur un temps hors scolaire en fonction de leurs disponibilités.

Comme il est indiqué sur la Figure 19, un moment d'accueil et de débriefing était prévu pour présenter le protocole à l'enfant, mais aussi pour appeler les familles. Cet appel permettait de leur confirmer la participation de l'enfant, faire un retour sur cette dernière, demander si elles souhaitaient faire la partie facultative du protocole, ou encore leur exposer les résultats aux tests standardisés si ces derniers avaient mis en évidence des difficultés significatives. Dans le cas où des difficultés significatives étaient observées, une discussion était aussi entamée avec l'équipe pédagogique de l'école.

a.



b.

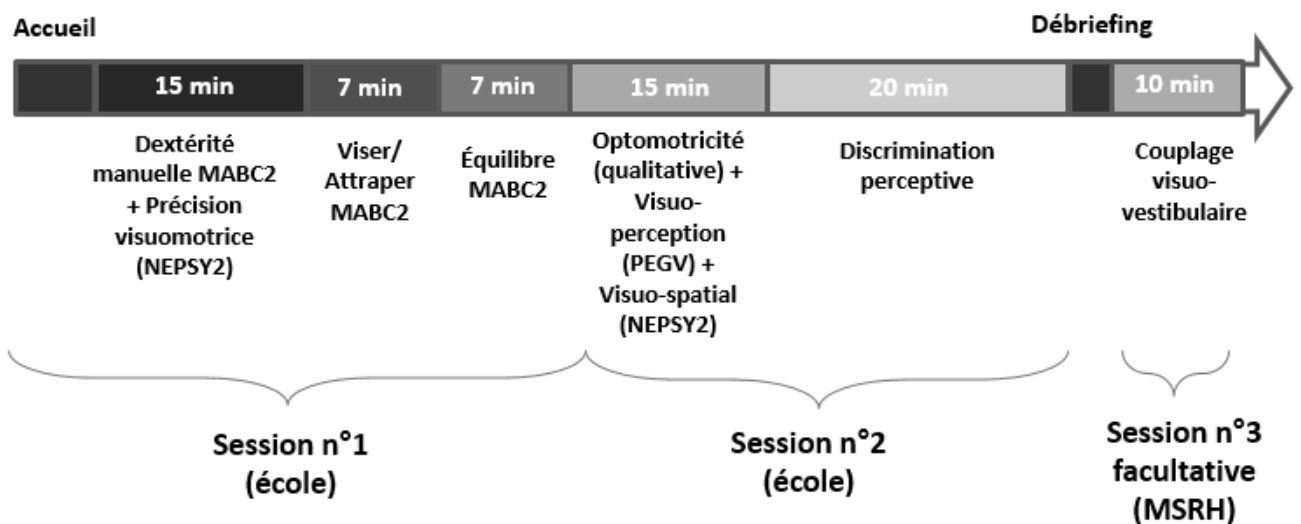


Figure 19. Déroulement temporel du protocole pour les enfants vus dans les écoles ; (a) année scolaire 2016-2017 ; (b) année scolaire 2017-2018

2.5. Présentation ludique du protocole

Afin d'optimiser l'adhésion de l'enfant, le protocole était présenté sous un format ludique entièrement inventé et adapté pour ce dernier. Cette présentation variait en fonction du lieu de participation de l'enfant car elle dépendait du caractère continu ou non du protocole.

2.5.1. Enfants reçus à la MSRH

Pour les enfants reçus à la MSRH, ces derniers devaient tout d'abord choisir un personnage parmi quatre proposés. Il était ensuite expliqué à l'enfant que ce personnage, qui le représentait, allait rencontrer différents animaux. Ces animaux étaient, dans l'ordre, une taupe (Mme la Taupe), une pie (Mme la Pie), un chat (le Petit Chat Chi), et un éléphant (Mme l'Eléphant). Les images et les animaux ont été choisis non pas de manière aléatoire, mais bien dans un souci de cohérence avec ce qui était demandé à l'enfant. Chaque animal regroupait une ou plusieurs tâches que l'enfant devait effectuer pour obtenir un smiley. Une fois le smiley obtenu, ce dernier était à placer autour d'une coupe virtuellement gagnée par le personnage lorsque tous les smileys étaient présents, soit que l'ensemble des animaux aient été vus et donc toutes les tâches effectuées. La tâche de contrôle posturale s'effectuait en amont du début de cette présentation ludique car le matériel devait être immédiatement rangé pour dégager l'espace nécessaire aux autres tâches. La Figure 20 illustre le matériel servant de support aux aspects ludiques.



Figure 20. Photo de l'affiche utilisée comme support ludique tout au long du protocole pour les enfants reçus à la MSRH. Sur l'image on retrouve des exemples de personnages, les quatre animaux, les smileys et la coupe en haut à droite.

2.5.2. Enfants observés dans les écoles

Les animaux présentés ci-dessus étaient de nouveau utilisés avec les enfants observés dans les écoles. Pour chaque enfant un petit livret était imprimé et sur lequel on retrouvait les quatre animaux. Au début du protocole, une présentation générale des animaux était faite,

puis chaque animal était détaillé en fonction des tâches à effectuer pendant la session. Pour remplacer les smileys, des ronds sont cochés sur le livret au fur-et-à-mesure. La Figure 21 illustre ce livret.

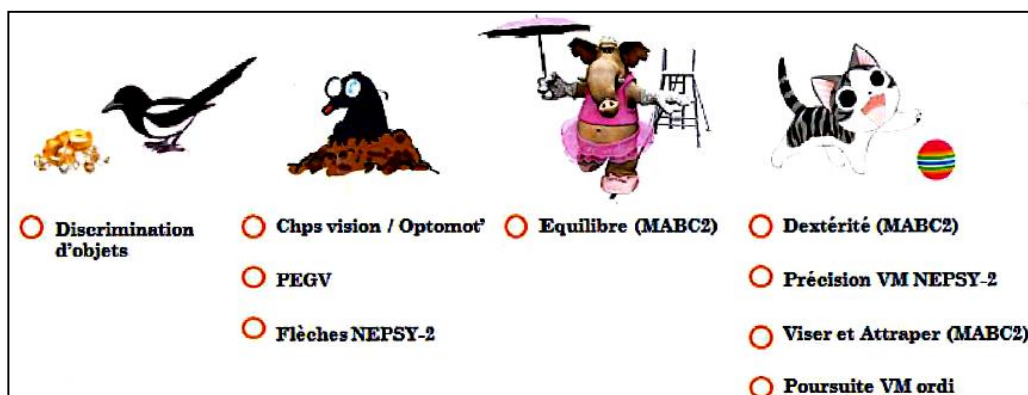


Figure 21. Deuxième page du livret personnel de chaque enfant vu dans les écoles

2.6. Présentation générale des tests et questionnaires utilisés dans le protocole

Afin de contrôler certains processus impliqués dans les trois tâches de recherche (discrimination d'objets, poursuite visuomanuelle sur l'ordinateur, équilibre statique), différents tests et questionnaires ont été proposés aux enfants et aux parents. Ils sont décrits dans la partie suivante et un exemplaire du cahier synthétisant les résultats aux tests et questionnaires standardisés est présenté en annexe.

2.6.1. Une évaluation rapide des compétences orthoptiques, visuo-perceptives et visuo-spatiales

Pour rappel, les études ont mis en évidence que 37% des déficits visuels étaient associées à une naissance prématurée et que 41% des enfants nés prématurés avaient besoin de lunettes contre 26% des enfants nés à terme (Allen, 2008; Marret et al., 2015). Par ailleurs, la revue de littérature de Geldof et al. (2012) a mis en évidence des déficits dans les compétences visuo-perceptives et visuo-spatiales. Et enfin, d'après Mazeau (2000), des troubles de l'oculomotricité sont aussi assez fréquemment observés dans la population des enfants nés prématurés. Ces données ont encouragé l'exploration des compétences orthoptiques, visuo-perceptives et visuo-spatiales. Avant ces tests, il était confirmé auprès des parents qu'il n'existait pas de trouble visuel majeur et que la vue était normale ou corrigée à la normale.

2.6.1.1. Évaluation orthoptique

L'évaluation orthoptique était qualitative. Il était simplement demandé à l'enfant de suivre des yeux l'embout d'un stylo en essayant de bouger la tête au minimum. Le stylo effectuait un aller-retour horizontal, vertical, puis oblique de gauche à droite et enfin oblique de droite à gauche. L'examineur notait la qualité de la poursuite du regard (fluide, saccadée, chaotique, absente). Ce test permettait alors de s'assurer à minima que les enfants inclus n'avaient pas de troubles oculomoteurs majeurs.

2.6.1.2. Évaluation visuo-perceptive

L'évaluation visuo-perceptive pouvait être divisée en deux parties : une évaluation qualitative de la perception latérale, une évaluation quantitative de la perception visuelle d'images. L'efficacité de la perception latérale était observée qualitativement dans les deux champs visuels en demandant à l'enfant, un œil après l'autre, d'indiquer quelle était la main qui bougeait tout en fixant un point devant lui. Le point de fixation était une gommette, dont la couleur avait été choisie par l'enfant, placée sur le front de l'examineur. Les mains de l'examineur étaient placées devant le participant de telle manière à ce qu'elles soient visibles dans les champs visuels latéraux. 4 essais étaient effectués par œil.

L'évaluation visuo-perceptive quantitative s'est appuyée sur le test des figures identiques du Protocole Montréal-Toulouse d'Evaluation des Gnosies Visuelles (PEGV) (Agniel, Joannette, Doyon, & Duchéin, 1992). L'objectif de ce test est d'évaluer les capacités de perception et de discrimination de figures géométriques. Pour cela, il est demandé au participant d'identifier et de montrer le stimulus identique à un stimulus cible parmi un choix multiple. Le stimulus montré et le temps de réponse sont notés par l'examineur. Une erreur est comptée pour la désignation d'un stimulus différent du stimulus cible ou lorsque la réponse est donnée au-delà de 30 secondes. Le résultat à ce test est estimé « pathologique » lorsque le participant fait plus de deux erreurs.

2.6.1.3. Évaluation visuo-spatiale

L'évaluation des compétences visuo-spatiales est une évaluation quantitative s'appuyant sur le test des Flèches de la batterie A Developmental Neuropsychological Assessment (NEPSY) – version 2 (Korkman, Kirk, & Kemp, 2007). Ce test vise plus spécifiquement à

évaluer les compétences de perception de l'orientation de lignes. Il consiste dès lors à présenter des planches aux enfants sur lesquelles des flèches sont réparties autour d'une cible (Figure 22). Il est alors demandé à l'enfant, pour chaque planche, d'identifier la flèche, puis les deux flèches, qui finiront exactement au centre de la cible si elles effectuent une trajectoire en ligne droite. Pour identifier ces flèches l'enfant ne peut pas utiliser son doigt pour continuer la trajectoire jusqu'à la cible. Par conséquent la tâche mobilise aussi des compétences oculomotrices. Le nombre correct de flèches permet de calculer une note étalonnée suivie d'un rang percentile (pc). Un score correspondant à un rang égal ou inférieur au 5^{ème} pc est estimé pathologique, tandis qu'un score correspondant à un rang compris entre le 10^{ème} et le 15^{ème} pc renvoie à une suspicion de difficultés. Cependant les praticiens utilisant ce test ne sont pas unanimes concernant cette dernière interprétation.

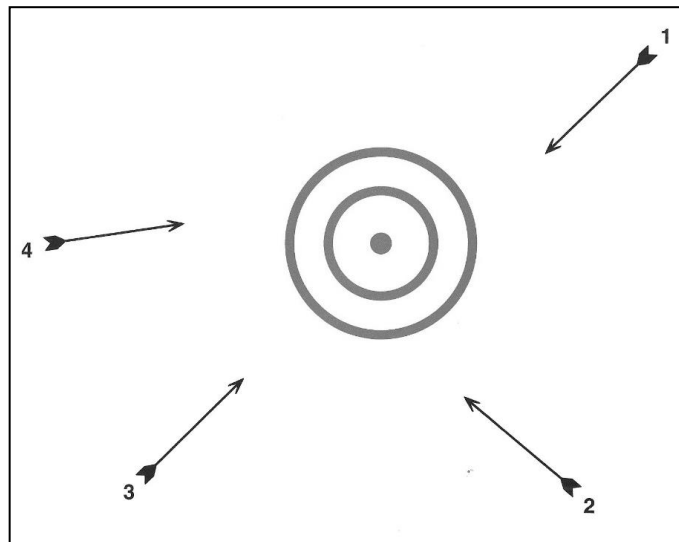


Figure 22. Exemple de planche présenté à l'enfant dans le test des « Flèches » de la NEPSY-2 (Korkman et al., 2007).

2.6.2. Un bilan psychomoteur complet

2.6.2.1. Évaluation de la latéralité manuelle

Afin d'évaluer au mieux les compétences perceptivo-motrices, il a été nécessaire d'identifier la latéralité manuelle des participants. C'est dans cet objectif que le questionnaire Edinburgh Handedness Inventory - Short Form (Oldfield, 1971) a été utilisé. Dans ce questionnaire, il est demandé à l'enfant quelle main il utilise dans 4 activités différentes

(écriture, jeter un objet, se brosser les dents, cuillère) et à quelle fréquence il utilise cette main (tout le temps, souvent, les deux de la même façon). Un score de latéralité est calculé en fonction de ces réponses. Les scores compris entre -100 et -61 sont associés aux gauchers, entre -60 et +60 aux ambidextres, et entre 61 et 100 aux droitiers.

2.6.2.2. Batterie standardisée d'évaluation des compétences psychomotrices

Dans l'objectif d'inclure uniquement des enfants dont le développement psychomoteur est estimé normal, une batterie standardisée complète évaluant les compétences psychomotrices a été utilisée auprès de tous les enfants. Cette batterie est la M-ABC2 (Henderson, Sugden, & Barnett, 2007). La M-ABC2 est composée de huit tâches regroupées en trois domaines : « Dextérité manuelle », « Viser et attraper » et « Équilibre ». Un score total est calculé pour l'ensemble de la batterie, ainsi que des sous-scores pour chaque domaine. Le Tableau 9 synthétise les interprétations des scores standardisés et des rangs percentiles associés aux scores et sous-scores observés.

Tableau 9. Synthèse des résultats obtenus à la M-ABC2 et leurs interprétations

Note totale de test	Note standardisée	Rang percentile	Interprétation
Jusqu'à 61 inclus	5 et moins	5 ^{ème} et inférieur	Difficulté motrice significative
Entre 62 et 71 inclus	Entre 6 et 7	Entre le 5 ^{ème} et le 15 ^{ème}	Situation à risque de difficulté motrice
Au-dessus de 71	Au-dessus de 7	Au-dessus du 15 ^{ème}	Pas de difficulté motrice

Par ailleurs, les tâches proposées dans cette batterie dépendent aussi du groupe d'âge auquel appartiennent les participants. Dans ce travail de recherche, les enfants se situaient dans le groupe d'âge n°2 (7 à 10 ans). Pour ce groupe, la partie « Dextérité manuelle » contenait une tâche de manipulation d'objets uni-manuelle (placer des chevilles dans des trous), de manipulation d'objets bimanuelle (passer un lacet dans des trous), et uni-manuelle graphique (trajet à suivre). La partie « Viser et attraper » comprenait une tâche dans laquelle l'enfant lance et rattrape une balle à deux mains, et une autre où il lance un sac sur une cible. Enfin, la partie « Équilibre » se composait d'une tâche d'équilibre statique sur une jambe, de

suivi en marche avant d'une ligne au sol en collant les pieds, et de déplacement à cloche-pied sur des tapis alignés.

2.6.2.3. Tâche complémentaire d'évaluation des compétences psychomotrices

Dans l'objectif de compléter la tâche graphique de la M-ABC2 (Trajet) en rajoutant une contrainte temporelle, le test Précision visuomotrice de la NEPSY-2 a été inclus au protocole. Dans ce test il est demandé à l'enfant de suivre un trajet le plus vite possible tout en évitant de sortir de ce dernier. Deux trajets reflétant deux degrés de difficultés étaient effectués. La vitesse d'exécution, le nombre de sortie, ainsi que le nombre de levé de crayon étaient notés. Les mesures permettaient de calculer des notes étalonnées ou des rangs percentiles indiquant l'existence ou non de difficultés. Pour les notes étalonnées, les critères appliqués étaient les mêmes que ceux de la M-ABC2. Les critères concernant les rangs percentiles étaient les mêmes que le test des Flèches de la même batterie. Les résultats ont ainsi permis d'accéder à des indications supplémentaires concernant la vitesse et la précision graphomotrice, ainsi que sur la stratégie employée par l'enfant pour réussir cette tâche (ex. privilégier la vitesse).

2.6.3. Un questionnaire général et un questionnaire standardisé

Afin de recueillir des données et indices pertinents pour la suite des analyses, des questionnaires étaient remplis par les parents et renvoyés avec les accords de participation signés.

2.6.3.1. Questionnaire général

Parmi les questionnaires à renvoyer se trouvait un questionnaire général. Dans ce dernier, les parents ont notamment indiqué leurs catégories socioprofessionnelles, le nombre de semaines de gestation à la naissance de l'enfant, ainsi que le poids et la taille à la naissance de ce dernier. Ces informations ont été demandées car des études portant sur les enfants nés prématurés ont identifié ces indicateurs comme de potentiels facteurs de risque à prendre en compte (e.g. Nishimura, Takei, Tsuchiya, Asano, & Mori, 2016; Potharst et al., 2013). Dans l'objectif de quantifier les données qui concernaient les catégories socioprofessionnelles, un score était attribué à chaque parent (Tableau 10). La méthode utilisée est inspirée de celle de

Herrgård, Luoma, Tuppurainen, Karjalainen, et Martikainen, (2008). Ces scores étaient ensuite additionnés pour obtenir un indice socioéconomique.

Tableau 10. Scores attribués aux catégories socioprofessionnelles

Catégories	Sans emploi ou donnée absente (un seul responsable légal)	Employé(e) ou fonction intermédiaire	Cadre	Fonction intellectuelle supérieure
Scores	0	1	2	3

Le poids et taille actuels de l'enfant étaient également demandé pour ceux concernés par la tâche de contrôle postural car ces mesures étaient nécessaires pour le logiciel utilisé. Si les données n'étaient pas assez récentes ou non renseignées, la mesure était effectuée au moment de la participation de l'enfant. Le sexe de l'enfant était aussi à préciser dans ce questionnaire. En effet, des études sur les performances perceptivo-motrices (Flatters et al., 2014; Junaid & Fellowes, 2006) ont mis en évidence des différences significatives entre les filles et les garçons. Ce facteur était donc aussi à prendre en compte dans la composition des groupes.

Des questions portaient également sur les activités physiques et sportives effectuées en dehors du sport scolaire (en heures pour l'année en cours et en années de pratique pour les sports des années scolaires précédentes), ces expériences ayant une influence sur les habiletés motrices des enfants (Wrotniak, Epstein, Dorn, Jones, & Kondilis, 2006). Pour estimer le niveau de pratique sportive des participants et l'exprimer dans une seule variable, un indicateur d'intensité du ou des sports en cours était additionné aux nombres d'années de pratique des anciens sports. L'indicateur d'intensité était de 1 pour une pratique entre 0 et 1 heure (1 heure incluse) par semaine, de 2 pour moins de 4 heure (4 heures incluses), 3 pour moins de 7 heures (7 heures incluses), 4 pour plus de 7 heures. Pour étudier au mieux l'influence de cette pratique sportive sur la tâche de poursuite visuomanuelle, une multiplication par 2 est appliquée à l'intensité et aux nombres d'années de pratique uniquement pour les sports de balle qui mobilisent le plus les processus visuomoteurs (Oulhaj, 2016).

Une autre question portait sur le temps moyen passé par jour sur les jeux vidéo (toutes interfaces). En effet, la pratique des jeux vidéo influence des compétences comme l'attention visuelle (Green & Bavelier, 2003) et familiarise les individus aux interfaces informatiques. La variable quantifiant le niveau « d'expertise » dans les jeux vidéo s'appuyait dès lors sur la durée hebdomadaire de leur pratique. L'indicateur d'intensité appliqué était le même que celui

des heures de sport par semaine, c'est-à-dire de 1 pour une pratique entre 0 et 1 heure (1 heure incluse) par semaine, de 2 pour moins de 4 heures (4 heures incluses), 3 pour moins de 7 heures (7 heures incluses), 4 pour plus de 7 heures (Oulhaj, 2016).

Enfin, le niveau scolaire actuel était demandé, ainsi que l'existence ou d'un ancien redoublement. Ces indicateurs permettaient de renseigner sur les compétences globales d'apprentissage de l'enfant. Cependant il semblerait que le redoublement, aujourd'hui quasiment impossible en primaire, ne soit plus un très bon indicateur.

2.6.3.2. Questionnaire sur les compétences cognitives : Conners – 3^{ème} version (2001)

L'étude de Hemgren et Persson (2007) menée auprès d'enfants nés prématurés et d'enfants nés à terme âgés de 3 ans a mis en évidence une association entre le développement perceptivo-moteur et les compétences attentionnelles de ces enfants. D'autres études ont aussi montré une influence des processus attentionnels sur les processus d'intégration multisensorielle (Talsma, Senkowski, Soto-Faraco, & Woldorff, 2010). Or, les difficultés attentionnelles sont fréquemment observées chez les enfants nés prématurés (de Jong, Verhoeven, & van Baar, 2015; De Kieviet, Van Elburg, Lafeber, & Oosterlaan, 2012). Ces difficultés attentionnelles peuvent être aussi accompagnées de troubles du comportement, comme de l'hyperactivité, des troubles des conduites (Larroque et al., 2008).

Afin de quantifier les risques de difficultés attentionnelles ou d'apprentissage, il a été demandé aux parents de remplir le questionnaire standardisé de Conners – 3^{ème} version (Conners, 2001), composé de 108 items ou questions concernant la présence et la fréquence des comportements ou caractéristiques de l'enfant sur une échelle de type Likert à 4 niveaux (pas du tout, un peu vrai, vrai la plupart du temps ou très vrai). Les réponses à ces items permettent de calculer des scores standardisés (T scores) pour l'inattention, l'hyperactivité, les problèmes d'apprentissage, les problèmes de fonctionnement exécutif, l'agressivité et les problèmes sociaux. Un index global est aussi calculé à partir de ces indicateurs. En parallèle, des scores correspondant au DSM-IV pour l'inattention, l'impulsivité-hyperactivité, les troubles des conduites sont aussi accessibles. Pour l'ensemble des scores standardisés (T score), le résultat est considéré comme reflétant une difficulté significative lorsque ce dernier est supérieur à 70.

Par ailleurs, des items spécifiques permettent d'avoir des indicateurs sur les signes d'anxiété et de dépression. Ces derniers nécessitent une investigation supplémentaire lorsque le score est supérieur à 1. Les derniers items du questionnaire renvoient à l'impact significatif

ou non, dans la vie quotidienne ou dans les apprentissages, des difficultés signalées dans le questionnaire. La mesure de cet impact est essentielle car c'est un critère de diagnostic des troubles cognitifs et des troubles des apprentissages.

Enfin, la fiabilité des réponses au questionnaire est mesurée grâce à des questions spécifiques (ex. mon enfant est parfait) renvoyant à des biais positifs ou négatifs envers l'enfant. Un indice de 0 à 3 rend le questionnaire probablement valide. Un indice de 4 possiblement invalide. Et un indice de 5 à 6 probablement invalide.

2.7. Méthode générale des analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques ont été menées en utilisant le logiciel JASP (version 0.9.0.1), ainsi que le logiciel Statistica 8. Pour l'ensemble des analyses effectuées, le seuil de significativité retenu était de $p < .05$. Un test t de Student, ou un t de Welch si les variances n'étaient pas homogènes, était utilisé lorsque le plan d'analyse ne contenait qu'une seule variable indépendante, et une ANOVA était utilisée lorsqu'il contenait au moins deux variables indépendantes. Les conditions d'application des tests statistiques étaient vérifiées en amont. La méthode utilisée pour normaliser au mieux la distribution des données suivait les recommandations de Field (2009). Ainsi, la distribution des résidus standardisés, la présence ou non de outliers (critère : ± 3 ET des résidus standardisés), et l'homogénéité des variances (test de Levene) étaient observés. Dans le cas où les variances n'étaient pas homogènes, et que la distribution des résidus standardisés était asymétrique avec plus de données à droite de la courbe, une transformation des données en racine carré était appliquée. Si des outliers étaient aussi détectés, ces derniers pouvaient disparaître avec la transformation. Lorsque les outliers restaient présents, qu'une transformation soit appliquée ou non, la méthode de Winzorising était utilisée. Cette méthode consiste à remplacer la donnée correspondant à l'outlier par la valeur la plus proche (que cela soit en positif ou en négatif) parmi celles du groupe concerné (NT ou PT). Suite aux ANOVA, si un problème de sphéricité était détecté au test de Mauchly, une correction de Greenhouse-Geisser était appliquée.

De plus, lorsqu'une hypothèse avait été préalablement avancée concernant certaines conditions de la variable indépendante, des comparaisons planifiées étaient effectuées. Un test post-hoc de type Bonferroni était réalisé lorsqu'aucune hypothèse spécifique n'avait été préalablement formulée ou que toutes les conditions de la variable indépendante étaient comparées. Enfin, lorsque des analyses de régression étaient menées, les mêmes données que celles des ANOVA et des tests t étaient retenues (transformées ou non, avec ou sans

winzorising). Les analyses de régression multiples utilisées étaient soit des analyses où les facteurs étaient introduits ensemble dans le modèle, soit des analyses de régression pas-à-pas ascendantes (forward) où les facteurs étaient introduits un à un dans le modèle jusqu'à atteindre la part explicative la plus élevée.

CONTRIBUTIONS EXPÉRIMENTALES

***Tâche de discrimination perceptive dans les
modalités haptique et visuelle***

Chapitre VII. Tâche de discrimination perceptive dans les modalités haptique et visuelle

L'ensemble des éléments théoriques et empiriques présentés dans les Chapitre I à V ont motivé l'étude de la perception intermodalaire entre les modalités visuelle et haptique chez des enfants nés prématurés âgés de 8 ans et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Afin de définir nos hypothèses concernant ces enfants, les données concernant la perception intermodalaire chez les adultes, les nouveau-nés et nourrissons, nés à terme puis nés prématurés, ainsi que chez les enfants seront décrites. Une deuxième partie sera consacrée à l'exposition de l'objectif et des hypothèses de recherche. La méthodologie sera décrite dans une troisième partie. Enfin, une quatrième et une cinquième partie porteront sur la présentation puis la discussion des résultats.

1. Introduction

Avant d'aborder les études portant sur la perception des équivalences intermodales, il semble important de définir les termes « haptique » et « équivalences intermodales ». Le terme « haptique » est similaire au terme « tactilo-kinesthésique » car il renvoie au traitement perceptif simultané des informations tactiles reçues par les récepteurs cutanés et des informations proprioceptives fournies par les muscles et les tendons (Loomis & Lederman, 1986). Il permet donc de percevoir les contacts avec l'environnement, mais aussi de déterminer les propriétés morphologiques des objets manipulés. Si les systèmes haptique et visuel traitent des stimulations différentes (e.g. Gori et al., 2008), ils peuvent contribuer ensemble à une perception plus précise de l'environnement (e.g. Lederman & Klatzky, 1987; Taylor-Clarke, Kennett, & Haggard, 2002). De plus, la spécificité du codage des informations sensorielles dans ces deux modalités n'empêche pas le traitement d'informations communes. Ces informations communes sont des propriétés dites amodales (Gibson, 2000). Par exemple, la forme, l'intensité, la texture, la localisation spatiale, et le nombre, sont des dimensions communes à plus d'une modalité (e.g. Gibson, 2000; Gottlieb, Wahlsten, & Lickliter, 2007; Streri, 2012). Dans les tâches de transfert intermodalaire de la forme d'objets entre les modalités haptique et visuelle, un premier objet présenté dans une modalité sera comparé à un ou plusieurs autres objets dans une seconde modalité. La présentation des objets peut être simultanée, c'est-à-dire que les objets sont perçus en même temps, ou elle peut être

séquentielle, c'est-à-dire que les objets sont présentés à la suite et ne sont donc pas perçus en même temps. Quelle que soit la procédure choisie, simultanée ou séquentielle, les informations communes aux deux modalités doivent être comparées. Dans ce contexte, ces informations communes sont appelées « équivalences intermodalitaires » (Streri, 2012).

1.1. La perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les adultes

Pour étudier la perception des équivalences intermodalitaires, des tâches impliquant le transfert intermodal de propriétés amodales sont utilisées. A ce titre, il convient de présenter de façon détaillée l'étude de Norman, Norman, Clayton, Lianekhammy, et Zielke (2004) qui servira de référence dans cette thèse, elle sera donc présentée de façon détaillée. Dans cette étude, une tâche de transfert intermodal impliquant la reconnaissance de la forme d'objets en 3D (cf. Expérience 2) a été proposée à de jeunes adultes dans les modalités haptique (notée H) et visuel (notée V). Afin de s'assurer que la tâche de transfert intermodalitaire repose le plus possible sur des processus perceptifs, et le moins possible sur une visualisation mentale ou un étiquetage sémantique des objets, les auteurs ont fait le choix de proposer des objets naturels non manufacturés. Ces objets étaient des moulages de poivrons (*Capsicum annuum*) en plastique (Norman, Clayton, Norman, & Crabtree, 2008). Dans cette tâche, la présentation était séquentielle. Un objet était présenté pendant 3 secondes dans une première modalité (visuelle ou haptique), puis un deuxième objet était présenté 3 secondes après, soit dans la même modalité (condition intramodale), soit dans une modalité différente (condition intermodale). Il était alors demandé aux participants de répondre si le deuxième objet était identique ou différent du premier objet.

La performance était mesurée en termes de Hits (détection de la différence pour deux objets différents) et de Fausses alarmes (détection d'une différence pour deux objets identiques). Ces mesures permettaient de calculer, en s'appuyant sur la théorie de détection du signal (Macmillan & Creelman, 2005), un indice noté d' reflétant la qualité de la discrimination perceptive. Les résultats ont alors mis en évidence un profil de performance spécifique chez l'adulte. Les participants commettaient plus d'erreurs dans les conditions intermodales VH et HV par rapport à la condition intramodale VV. La perception visuelle apparaît donc plus efficace que la perception des équivalences intermodalitaires pour détecter des différences dans la forme d'objets en 3D. La condition intramodale HH n'était pas différente des conditions intermodales, soulignant que la perception haptique n'était pas plus

efficace que la perception des équivalences intermodalitaires. Ces résultats sont illustrés par la Figure 24.

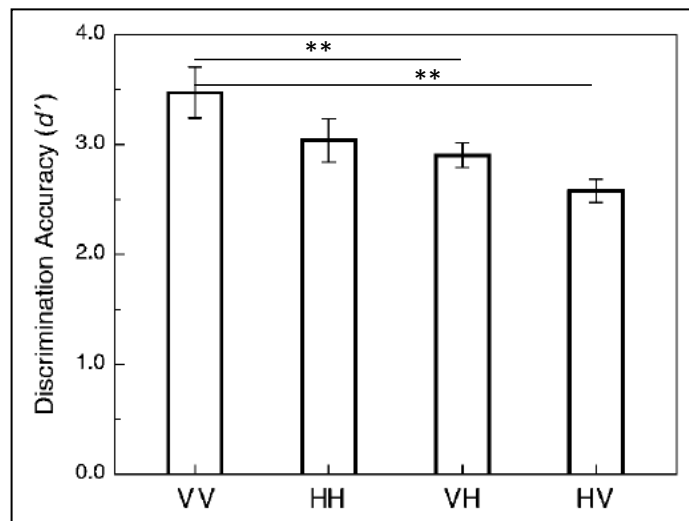


Figure 24. Graphique des performances (indice d') dans une tâche de reconnaissance d'objets en 3D dans différentes conditions (V : visuel, H : haptique) et au cours de différentes sessions. Extrait de Norman et al. (2004). Les deux étoiles indiquent les différences significatives au test pos-hoc de Fisher. Les barres d'erreur représentent +/- 1 erreur standard.

Dans une seconde étude, Norman, Clayton, Norman, et Crabtree (2008) ont montré que ce profil de performance pouvait en partie s'expliquer par une tendance à répondre plus fréquemment qu'il n'y avait pas de différence entre les objets dans les conditions intermodales en comparaison des conditions intramodales. Dans une approche développementale, la prochaine partie sera consacrée à l'étude des données disponibles sur les capacités de transfert intermodaux des nourrissons et des enfants pour questionner s'il existe un moment du développement où leur profil de réponse devient comparable à celui qui est observé chez les adultes.

1.2. Développement de la perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les nouveau-nés et les nourrissons nés à terme et nés prématurés

Les caractéristiques des systèmes sensoriels à la naissance et leurs interactions reste un sujet majeur de débat dans la communauté des chercheurs s'intéressant au développement des habiletés perceptives (e.g. Bremner, Lewkowicz, & Spence, 2012). Il est donc important de préciser que ce travail s'appuie sur l'approche de E. Gibson (Gibson & Gibson, 1955) qui

propose que les nouveau-nés ont accès à une perception globale et unifiée des informations sensorielles, puis que ces habiletés de perception globale évoluent au cours du développement (Lewkowicz, 2012) en parallèle de la différenciation des modalités sensorielles. Dans le sens de cette hypothèse, des études ont montré que les nouveau-nés et nourrissons percevaient les propriétés amodales (ex. synchronie temporelle) et qu'ils effectuaient des transferts intermodaux du rythme (Bremner, Lewkowicz, & Spence, 2012; Lickliter & Bahrick, 2000). D'après E. Gibson (2000), la perception des équivalences intermodalitaires est la clé pour comprendre le développement de la perception et de l'apprentissage. Cette approche peut être complétée par l'hypothèse de la redondance intersensorielle soutenue par Lickliter et Bahrick (e.g. 2000). Elle propose que l'information présentée de manière redondante dans plusieurs modalités sensorielles recrute sélectivement l'attention du nourrisson durant le développement précoce et entraîne une mise en valeur des propriétés amodales du stimulus au détriment des propriétés spécifiques à chaque modalité.

1.2.1. Nouveau-nés à terme

Concernant plus spécifiquement les modalités haptique et visuelle, les études comportementales chez les nouveau-nés nés à terme ont mis en évidence des habiletés précoces de perception des équivalences intermodalitaires. Par exemple, l'étude de Molina et Jouen (2001) a proposé une tâche en trois phases à des nouveau-nés de 3 à 5 jours impliquant des objets de textures différentes (lisse ou rugueux). La première phase, ou pré-test, consistait à placer un objet dans la main droite du nouveau-né et à recueillir l'activité manuelle exercée dessus. La deuxième phase, ou test, consistait à placer le même objet dans la même main du nouveau-né en lui présentant visuellement une balle ayant la même texture ou non que l'objet tenu. La troisième phase, ou post-test, consistait de nouveau à placer le même objet dans la main droite du nouveau-né en l'absence de cible visuelle. Tout au long des trois phases, le temps de tenu, ainsi qu'une mesure de l'exploration manuelle (pression exercée sur l'objet), étaient relevés. Les résultats ont montré que l'exploration manuelle de l'objet différait en fonction de la condition de la phase test (objet de la même texture ou non que celui tenu). Ce résultat a été interprété comme témoignant de capacités de comparaison de la texture entre les deux modalités, et donc de perception précoces d'équivalences intermodalitaires, chez les nouveau-nés de 3 à 5 jours.

D'autres études menées chez les nouveau-nés ont mis en évidence des habiletés de transfert d'informations sur la forme entre les modalités haptique et visuelle. Les formes

utilisées dans les études citées par la suite étaient un cylindre et un prisme. Dans l'étude de Streri et Gentaz (2003), la tâche a été proposée à des nouveau-nés âgés en moyenne de 62 heures. La procédure était de deux phases pour le groupe expérimental : une phase de familiarisation où l'objet était manuellement exploré sans retour visuel dans la main droite et une phase de test où une paire d'objet visuel était présentée simultanément. Une mesure de la préférence visuelle, s'appuyant sur le temps de fixation visuel, était effectuée dans la phase test. Le groupe contrôle n'effectuait que la deuxième phase. Les résultats ont montré que les nouveau-nés du groupe expérimental regardaient plus longtemps l'objet manipulé que le nouvel objet, mettant ainsi en évidence un transfert d'informations sur la forme de la modalité haptique vers la modalité visuelle. Des résultats comparables ont été obtenus chez des nouveau-nés âgés en moyenne de 54 heures dans la condition où l'objet était tenu dans la main droite (Streri & Gentaz, 2004).

Dans l'étude de Sann et Streri (2007), les deux conditions intermodales ont été testées, avec la même procédure que celle de l'étude de Streri et Gentaz (2004), auprès de nouveau-nés âgés en moyenne de 41.8 heures pour la condition intermodale de la modalité haptique vers la modalité visuelle, et auprès de nouveau-nés âgés en moyenne de 38.3 heures pour la condition intermodale de la modalité visuelle vers la modalité haptique. Les résultats ont mis en évidence une non réversibilité du transfert intermodalitaire. Les nouveau-nés transféraient des informations de la modalité haptique vers la modalité visuelle, mais pas l'inverse, ce qui traduit une mise en place progressive des mécanismes de perception des équivalences intermodalitaires.

1.2.2. Nouveau-nés et nourrissons nés prématurés

Chez le nouveau-né prématuré, quelques études ont montré l'existence d'habiletés de perception haptique au travers de tâches d'habituation. Par exemple, l'étude de Lejeune et al. (2010) a proposé une tâche de reconnaissance de la forme d'objets dans une condition intramodale haptique, à des nouveau-nés prématurés (30 SA + 6 jours) âgés en moyenne de 20 jours. Une première phase d'habituation consistait à placer un objet (cylindre ou prisme) dans la main droite ou gauche du nouveau-né. En se basant sur le temps de saisi, des capacités d'habituation à cet objet étaient alors bien observées chez ces nouveau-nés prématurés, traduisant des habiletés de perception des informations haptiques. Dans la phase test, ils recevaient dans la même main un nouvel objet ou l'objet familier. Dans le cas où l'objet était nouveau, les résultats ont montré que le temps de tenu augmentait, reflétant des habiletés de

discrimination et de comparaison de la forme des objets dans la modalité haptique. Des compétences perceptives haptiques comparables ont été révélés chez des nouveau-nés âgés de 28 SA dans l'étude de Marcus, Lejeune, Berne-Audéoud, Gentaz, et Debillon (2012). Dans cette même étude, l'ajout d'une troisième phase dans laquelle l'objet familier était de nouveau présenté après le nouvel objet a mis en évidence l'existence d'une mémoire haptique à court terme fonctionnelle dès 28 SA.

L'étude de Molina et al. (2015) a proposé une tâche d'exploration haptique d'objets ayant des textures variées à des nouveau-nés prématurés tardifs (34 SA en moyenne) et des nouveau-nés à terme, tous âgés en moyenne de 3 à 6 jours lors des mesures. Une phase d'habituation où un objet était placé dans la main du nouveau-né était suivie d'une phase test avec un nouvel objet ou un objet similaire. Les résultats ont montré que les deux groupes de nouveau-nés s'habituèrent bien aux objets, mais que les nouveau-nés prématurés avaient besoin de plus de temps. Dans cette phase, les mesures d'exploration manuelle (pression exercée sur l'objet) ont aussi révélé que les nouveau-nés prématurés ne manipulaient pas les objets pour les explorer quelle que soit la texture. Ce dernier résultat pourrait expliquer, d'après les auteurs que, contrairement aux nouveau-nés à terme, les nouveau-nés prématurés ne modifient pas leur exploration manuelle lorsqu'un nouvel objet était présenté dans la phase test en comparaison d'un objet familier. Une interprétation globale proposée était que l'exploration active de la texture se développerait plus tardivement, entre 34 et 38 SA, et que les comportements des nouveau-nés prématurés pourraient être expliqués par une immaturité cérébrale fonctionnelle.

Seule l'étude de Rose, Gottfried, et Bridger (1978) s'est intéressée à la perception des équivalences intermodales entre les modalités haptique et visuelle chez des nourrissons nés prématurés (32.6 SA) et chez des nourrissons nés à terme, tous d'un âge conceptuel équivalent à 1 an dans les deux groupes (correction de l'âge des nourrissons nés prématurés). Une tâche de familiarisation leur était proposée dans deux conditions : intramodale visuelle et intermodale de la modalité haptique vers la modalité visuelle. Chaque nourrisson effectuait les deux conditions et les objets utilisés avaient des formes géométriques différentes (ex. étoile, triangle), mais des hauteurs et des largeurs similaires. La procédure était divisée en une première phase de familiarisation de 30 secondes, suivie d'une période test de reconnaissance visuelle de 20 secondes (nouvel objet et objet familier) où une mesure de la préférence visuelle était effectuée, puis d'une tâche d'atteinte d'un objet parmi les deux présentés. Les résultats ont montré des performances équivalentes dans les deux groupes de nourrissons pour la condition intramodale visuelle mais de moins bonnes performances dans la situation

intermodale chez les nourrissons nés prématurés par rapport aux nourrissons nés à terme. Une des interprétations avancées par les auteurs seraient que les nourrissons nés prématurés seraient plus en difficulté pour percevoir les informations dans la modalité haptique que les nourrissons nés à terme. Cependant, aucune analyse statistique n'a été menée dans l'étude de Rose, Gottfried, et Bridger (1978) pour comparer la condition intramodale visuelle à la condition intermodale haptique – visuelle. Il n'est donc pas possible de savoir si à l'âge de 1 an les performances des nourrissons sont comparables dans ces différentes situations.

1.3. Développement de la perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités visuelle et haptique chez les enfants nés à terme et nés prématurés

1.3.1. Enfants nés à terme

La perception des équivalences intermodalitaires a aussi été étudiée chez les enfants nés à terme. Dans l'étude de Rose, Blank, et Bridger (1972), une tâche de reconnaissance de la forme d'objets a été proposée à des enfants âgés de 3 à 4 ans. Les objets tridimensionnels avaient des formes géométriques familières (ex. cylindre, triangle) et chaque enfant effectuait la tâche dans une seule condition intramodale (visuelle ou haptique) ou intermodale (vision vers haptique ou haptique vers vision). La procédure consistait à présenter un premier objet dans une modalité et deux autres objets (le même objet et un nouveau) dans une modalité différente (condition intermodale) ou similaire à la première (condition intramodale). L'enfant devait identifier, parmi les deux objets, celui qui était identique au premier. Les deux objets étaient présentés soit en même temps que le premier (simultanée), soit après (séquentielle). Lors d'une présentation séquentielle, la condition intramodale visuelle était la mieux réussie tandis que les conditions intramodale haptique et les conditions intermodales, moins réussies, étaient comparables. Ainsi, si on rapporte ce profil de réponse à celui observé chez l'adulte (Norman et al., 2004) il apparaît que le profil de performance des enfants âgés de 3 à 4 ans différait de celui des adultes uniquement pour la condition intramodale visuelle qui était mieux réussie que la condition intramodale haptique chez les enfants.

L'étude de Rudel et Teuber (1964) met également en avant la difficulté de la situation haptique chez les enfants âgés de 3 à 6 ans placés dans une tâche de reconnaissance de la forme d'objets dans les modalités visuelle ou haptique. Les formes géométriques tridimensionnelles étaient de deux catégories, « simple » ou « complexe » et elles étaient présentées séquentiellement par paire. Chaque enfant effectuait la tâche dans une des quatre

conditions (deux intramodales et deux intermodales). Les résultats concernant les stimuli simples (Figure 25) ont révélé que tous les groupes d'âges étaient capables d'effectuer des transferts intermodalitaires. Cependant, les reconnaissances dans les conditions intermodales étaient plus difficiles que dans la condition intramodale visuelle. De plus, la reconnaissance dans la condition intramodale haptique était la plus difficile, et ceci particulièrement pour les enfants les plus jeunes (3 ans). Pour les stimuli complexes, la tâche était trop difficile pour les enfants les plus jeunes, par conséquent les différentes conditions ne pouvaient pas être comparées.

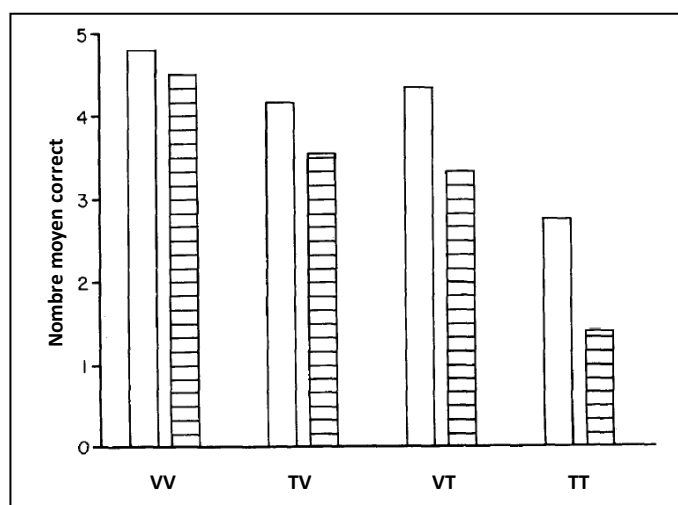


Figure 25. Histogramme des scores moyens des enfants de 5 ans (barres blanches) et des enfants de 4 ans (barres rayées) pour les stimuli simples d'une tâche de reconnaissance d'objets dans différentes conditions (V : visuel, T : haptique). Extrait de Rudel et Teuber (1964).

Dans l'étude de Bushnell et Baxt (1999), une tâche de reconnaissance de la forme d'objets tridimensionnels a été proposée à des enfants âgés de 5 ans avec une procédure originale qui consistait à présenter un premier objet dans une modalité, puis 16 autres objets (8 identiques et 8 différents) un par un. Contrairement aux deux autres études précédentes menées chez les enfants âgés de 3 à 4 ans et de 3 à 6 ans, l'étude de Bushnell et Baxt (1999) a mis en évidence de meilleures performances dans la condition intramodale haptique que dans la condition intermodale haptique – visuelle. Pour rappel, ce profil de performance n'était pas non plus retrouvé chez les adultes où la condition intramodale haptique ne différait pas des conditions intermodales (Norman et al., 2004). Les résultats de Bushnell et Baxt (1999) ont cependant confirmé que, comme chez les adultes et les enfants âgés de 3 à 6 ans, la condition intramodale visuelle était mieux réussie que la condition intermodale visuelle – haptique.

Malheureusement, les autres comparaisons n'ont pas été analysées. Les performances observées dans la condition intramodale haptique pourrait être en partie expliquées par les stimuli choisis qui pouvaient rendre la tâche plus facile. En effet, contrairement aux autres études menées chez les enfants, tous les objets tridimensionnels avaient des formes, des tailles, des poids, des couleurs, des textures, et un nombre de parties différentes. Par ailleurs, les résultats ont mis en évidence un effet de la familiarité des objets sur les performances : la tâche de reconnaissance était mieux réussie avec des objets familiers dans les conditions intermodales.

L'étude de Stoltz-Loike et Bornstein (1987) menée auprès d'enfants âgés de 5 et 7 ans, utilisait une tâche de reconnaissance de la forme d'objets dans les conditions intramodales et intermodales. En termes de procédure, chaque enfant n'effectuait qu'une seule des conditions, les objets tridimensionnels présentés étaient des formes géométriques complexes. Les meilleures performances étaient de nouveau relevées dans la condition intramodale visuelle. Les résultats de Stoltz-Loike et Bornstein (1987) ont aussi montré, chez des enfants âgés de 5 à 7 ans, que la condition intermodale visuelle – haptique était mieux réussie que la condition intermodale haptique - visuelle. Ces résultats différaient du profil de performance des autres enfants âgés de 3 à 6 ans (Rose et al., 1972; Rudel & Teuber, 1964) et des adultes (Norman et al., 2004) pour lesquels les deux conditions intermodales étaient comparables. Cependant, aucune comparaison n'a été menée entre la condition intramodale haptique et les conditions intermodales, ce qui ne permet pas de conclure sur l'équivalence de ces situations pour des enfants âgés de 5/7 ans. Par ailleurs, une approche développementale des résultats de Stoltz-Loike et Bornstein (1987) a montré que les enfants les plus âgés (7 ans) avaient de meilleures performances dans les conditions intermodales que les plus jeunes (5 ans), mais qu'aucune différence significative n'était observée pour les conditions intramodales.

Enfin, l'étude de Milner et Bryant (1970) a proposé une tâche de reconnaissance de la forme d'objets à des enfants âgés de 5, 6 et 7 ans. Chaque enfant effectuait la tâche dans une condition intramodale (visuelle-visuelle ou haptique-haptique) et une condition intermodale (haptique-visuelle ou visuelle-haptique). Les objets tridimensionnels avaient des formes géométriques familières plates (ex. triangle, demi-cercle) et chaque paire d'objets était présentée séquentiellement. Les résultats ont révélé que la condition intramodale visuelle était la condition où les meilleures performances étaient observées, tandis que les autres conditions étaient comparables entre elles. Les enfants âgés de 5 à 7 ans présentaient donc un profil de performance similaire aux enfants âgés de 3 à 4 ans de Rose et al. (1972). Par ailleurs, les

résultats étaient comparables à ceux des adultes pour lesquels la condition haptique était aussi bien réussie que dans les conditions intermodales (Norman et al., 2004).

La diversité des méthodes utilisées rend difficile la synthèse des performances observées chez les enfants. Il ressort cependant une amélioration au cours du développement des performances dans la condition intramodale haptique qui est la plus difficile pour les enfants de 3 ans (Rudel et Teuber, 1964). En effet, les performances de la condition intramodale haptique sont comparables à celles des conditions intermodales de 5 à 7 ans (Milner et Bryant, 1970). Pour Milner et Bryant (1970), l'amélioration au cours du développement de la reconnaissance des objets pourraient être expliquée par une amélioration du traitement des informations haptiques. Cette interprétation est soutenue par les résultats de l'étude de Purpura, Cioni, et Tinelli (2018), menée auprès d'enfants âgés de 4 à 10 ans 11 mois. Chez les enfants, comme chez les adultes, la condition visuelle est plus facile que les conditions intermodales. En adéquation avec l'hypothèse d'une amélioration du traitement des informations haptiques, les performances de la condition intramodale visuelle sont comparables à celles de la condition intramodale haptique chez les adultes.

1.3.2. Enfants nés prématurés

L'unique étude portant sur les enfants nés prématurés est l'étude longitudinale de Rose, Feldman, Futterweit, et Jankowski (1998) menée chez deux groupes d'enfants, nés à terme ou nés prématuré (31.2 SA en moyenne), âgés de 7 mois à 11 ans. Une tâche de reconnaissance de la forme d'objets était proposée à l'âge de 1 an, puis à l'âge de 11 ans, uniquement dans la condition intermodale haptique – visuelle. Pour les deux âges, les objets présentés étaient des formes géométriques non familières contrastées sur la dimension curviligne - rectiligne. A 1 an, la procédure consistait à présenter un premier objet dans la modalité haptique lors d'une phase de familiarisation de 25 secondes. Ensuite, deux objets étaient présentés visuellement pendant 20 secondes (nouvel objet et objet familier) et une mesure de la préférence visuelle était alors effectuée. A 11 ans, la procédure consistait à présenter un premier objet collé sur un support, dans la modalité haptique, qui n'était manipulé qu'avec deux doigts d'une seule main pendant 12 secondes. Ensuite, cinq objets (un objet identique au premier, deux autres différents, et deux distracteurs de la même taille mais pas de la même forme) étaient présentés visuellement. L'enfant devait alors indiquer quel objet avait été préalablement manipulé parmi les cinq. L'étude longitudinale comparant les résultats des mêmes individus à 1 an et à 11 ans sans distinction de groupe a mis en exergue une continuité développementale des

habiletés de perception des équivalences intermodalitaires de la modalité haptique vers la modalité visuelle. Concernant la comparaison des deux groupes (nés à terme vs. nés prématurés), les résultats ne sont pas détaillés à l'âge de 1 an. A 11 ans, les enfants nés prématurés avaient des performances comparables aux enfants nés à terme du même âge dans une tâche nécessitant le transfert d'équivalences intermodalitaires de la modalité haptique vers la modalité visuelle. Les auteurs précisent par ailleurs que huit enfants nés prématurés avaient reçu un diagnostic de troubles neurologiques majeurs (ex. diplégie spastique, hypotonie générale), mais que l'exclusion de leurs données ne modifiait pas les résultats. Les moins bonnes habiletés de perception des équivalences intermodalitaires mises en évidence dans une condition intermodale haptique – visuelle chez des nourrissons nés prématurés à l'âge de 1 an pourraient donc être dues à un retard de développement (Rose, Gottfried, et Bridger, 1978). Cependant, les résultats de ces études apportent des données partielles concernant l'effet de la prématurité sur la performance dans ce type de tâche puisque toutes les conditions contrôles n'ont pas été proposées.

Encadré 6 – Informations clés pour la tâche de discrimination perceptive

Les équivalences intersensorielles sont les propriétés des stimuli ou objets perçus qui sont partagées par différentes modalités sensorielles. Les études s'appuyant sur des tâches de reconnaissance de la forme d'objets menées auprès d'adultes ont montré un profil de performance spécifique dans lequel la condition intramodale visuelle était mieux réussie que dans les conditions intermodales, mais était comparable à la condition intramodale haptique. De plus, les performances de la condition intramodale haptique ne différaient pas de celles des conditions intermodales, elles-mêmes comparables entre elles. Chez les nouveau-nés et les nourrissons nés à terme, les données ont mis en évidence des habiletés de perception haptique et de perception des équivalences intermodalitaires. Par ailleurs, de moins bonnes performances de perception des équivalences intermodalitaires ont été observées chez les nourrissons nés prématurés en comparaison des nourrissons nés à terme. Cependant, en raison du manque de données pour certaines conditions, ces résultats ne peuvent pas être comparés au profil de performances observées chez l'adulte. Chez les enfants nés à terme âgés de 3 à 7 ans, la condition intramodale visuelle était la mieux réussie, tandis que la condition intramodale haptique était la moins réussie ou comparable aux conditions intermodales. Ce profil de performance, différent de celui des adultes, pourrait être expliqué par une perception des informations haptiques moins efficiente. Des performances comparables étaient retrouvés entre les conditions intermodales dans la majorité des études chez les enfants et les adultes. Enfin, les données observées chez l'enfant peuvent aussi être modulées par la familiarité des objets utilisés, qui pourrait créer un biais cognitif (imagerie mentale, étiquette sémantique). Concernant l'effet de la prématurité, de bonnes habiletés de perception des équivalences intermodalitaires ont été mises en évidence dans une condition intermodale haptique-visuelle chez les nourrissons nés prématurés âgés de 1 an en comparaison de nourrissons nés à terme. Cependant cette différence n'est plus observée à l'âge de 11 ans.

2. Objectif et hypothèses

Une tâche de discrimination perceptive de la forme d'objets dans les modalités haptique et visuelle a été utilisée avec pour principal objectif l'étude de la perception des équivalences intermodalitaires entre ces modalités chez des enfants sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, nés à terme ou nés prématurés. La recherche présentée ici vient aussi combler un ensemble d'informations manquantes. D'une part, les études recensées chez les enfants ont le plus souvent été réalisées à partir d'objets manufacturés susceptibles de créer des biais cognitifs, mais aussi à partir d'objets géométriques contrastés uniquement sur la dimension rectiligne-curviligne. Ce type d'objet peut faciliter une relation intermodale basée sur la détection de ce contraste. Il était alors nécessaire de compléter les études existantes par des recherches utilisant des objets non familiers, écologiques, tels que ceux proposés chez l'adulte par Norman et al. (2012, 2004) qui ne permettaient pas une reconnaissance intermodale des objets en se basant sur un seul détail spatial. D'autre part, les études réalisées chez l'enfant né prématuré n'ont pas systématiquement comparé toutes les situations intramodalitaires et intermodalitaires entre elles. Proposer l'ensemble des conditions intramodales et intermodales à des enfants nés prématurés et à des enfants nés à terme sans trouble neurodéveloppemental permettait dès lors d'étudier plus en détail la perception des équivalences intermodalitaires dans le contexte d'une naissance prématurée. Enfin, dans l'objectif de rechercher une éventuelle différence entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme, un indice d' a été utilisé pour mesurer les capacités de discrimination de la forme des objets. Cet indice, calculé à partir de la théorie de la détection du signal (Macmillan et Creelman, 2005) et déjà utilisée chez les adultes (Norman et al., 2012, 2004), est inédite chez les enfants où toutes les études se basent sur les mesures du temps d'exploration des objets ou du nombre de bonnes réponses.

D'après les données observées chez des enfants âgés de 3 à 7 ans (Milner & Bryant, 1970; Rose et al., 1972; Rudel & Teuber, 1964; Stoltz-Loike & Bornstein, 1987), il était attendu que de meilleures performances s'observeraient dans la condition intramodale visuelle par rapport aux autres conditions (intramodale haptique et intermodales). De plus, les performances dans la condition intramodale haptique n'étaient pas attendues différentes de celles observées dans les conditions intermodales (Milner & Bryant, 1970; Rose et al., 1972). Toujours d'après les données obtenues chez les enfants nés à terme, aucune différence n'était attendue entre les deux conditions intermodales (Milner & Bryant, 1970; Rose et al., 1972; Rudel & Teuber,

1964). Concernant les enfants nés prématurés, des performances comparables avec celles d'enfants nés à terme ont été mises en évidence à l'âge de 11 ans dans une condition intermodale haptique – visuelle (Rose, Feldman, Futterweit, et Jankowski, 1998). Cependant, les objets ne pouvaient être explorés qu'avec deux doigts et avaient des formes géométriques relativement simples. L'hypothèse générale de ce travail concernant les effets de la prématurité sur le développement des processus perceptivo-moteurs (Chapitre VI – partie 1) permet de supposer de moins bonnes habiletés de perception des équivalences intermodalitaires chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme, à l'âge de 8 ans, dans les conditions intermodales haptique – visuelle et visuelle – haptique d'une tâche impliquant une exploration libre d'objets en 3D ayant des formes naturelles complexes. Aucune différence n'était attendue entre les deux groupes d'enfants concernant les habiletés de perception visuelle et haptique. Dès lors, il était attendu des performances comparables dans les conditions intramodales visuelle et haptique.

Dans les conditions proposées dans la tâche de discrimination perceptive, 3 des 4 conditions mobilisent la modalité haptique. Or, un lien entre les habiletés de dextérité manuelle, mobilisant aussi la perception haptique, et le sexe a été mis en évidence chez les enfants (Junaid & Fellowes, 2006). Ainsi, l'hypothèse d'un lien entre les performances observées à la tâche de discrimination et les habiletés de dextérité manuelle, ainsi qu'un lien entre ces mêmes performances et le sexe des participants, a été avancée. Par ailleurs, un effet du statut socio-économique de la famille pouvait être supposé car une mauvaise situation socioéconomique constitue un facteur de risque à l'établissement d'un retard développemental dans le domaine de la motricité fine (e.g. Potijk, Kerstjens, Bos, Reijneveld, & de Winter, 2013). Enfin, concernant spécifiquement le groupe des enfants nés prématurés, afin d'évaluer des effets à long terme de certains facteurs périnataux estimés comme des facteurs de risque ou de protection, tels que le nombre de soins de peau-à-peau, le nombre d'heures de ventilation, et l'âge gestationnel (Fily, Pierrat, Delporte, Breart, & Truffert, 2006) étaient également analysés.

3. Méthodologie

3.1. Participants

3.1.1. Caractéristiques générales des groupes

Les caractéristiques cliniques des deux groupes de participants et leur comparaison sont résumées dans le Tableau 11. Deux groupes d'enfants ont participé à cette tâche : un groupe de 48 enfants né à terme et âgés en moyenne de 8 ans 5 mois, et un groupe de 32 enfants nés prématurés et âgés en moyenne de 8 ans 6 mois. Tous remplissaient les critères d'inclusion détaillés dans la méthode générale du protocole. Pour les variables continues, l'analyse statistique consistait en un test t de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : groupe). Cependant, lorsque les variances n'étaient pas homogènes (test de Levene), un test t de Welch était appliqué. Pour les variables catégorielles, un test de Khi^2 de Pearson était utilisé. Les résultats de ces analyses ont montré que les groupes étaient significativement différents pour les facteurs périnataux, soit l'âge gestationnel, le poids à la naissance et la taille à la naissance (Tableau 11). Par ailleurs, le groupe des enfants nés prématurés avaient un score significativement plus bas concernant le statut socioéconomique de la famille que le groupe des enfants nés à terme. Au regard de l'hypothèse précédemment évoquée sur l'influence du statut socioéconomique, l'effet de cette variable sur les performances dans la tâche de discrimination sera vérifié. Enfin, les enfants des deux groupes avaient des âges comparables lors de leur participation. Le nombre de filles et de garçons n'était pas significativement différent dans les deux groupes, de même que la répartition des droitiers, gauches et ambidextres.

Tableau 11. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche de discrimination perceptive. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont (1,78) pour les tests *t* et de 1 ou 2 pour le test du *Khi2*.

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 48	Nés prématurés (PT) N = 32	<i>t</i> de Student ou de Welch ^a ou <i>Khi2</i> ^b	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
Âge gestationnel moyen (SA)	39.40 (1.25 / 37-41)	31.01 (1.32 / 28-32)	28.70	< .05	6.550
Poids de naissance (g)	3362.71 (438.89 / 2590- 4400)	1475.94 (330.02 / 770-2040)	20.71	< .05	4.727
Taille de naissance (cm)	49.41 (2.10 / 44-54)	40.19 (3.23 / 33-47)	14.27 ^a	< .05	3.386
Âge à la participation (années et mois)	8 ans 5 mois (3 mois / 8 ans 0 mois-8 ans 11 mois)	8 ans 6 mois (3 mois / 8 ans 0 mois-8 ans 11 mois)	-0.256	.799	-0.058
Sexe (Filles / Garçons)	25/23	15/17	0.208 ^b	.648	/
Latéralité manuelle (Droite/Gauche/ Ambidextre)	45/2/1	27/3/2	1.909 ^b	.385	/
Statut socioéconomique des responsables légaux (scores)	3.19 (1.25 / 1-6)	2.22 (0.94 / 1-6)	3.949 ^a	< .05	0.876

3.1.2. Caractéristiques périnatales du groupe des enfants nés prématurés

Tous les enfants nés prématurés présentaient un bilan neurologique normal à la naissance. A la sortie du service, 30 enfants sur les 32 avaient une échographie transfontanellaire normale dans les jours suivant la naissance et 2 présentaient des hémorragies intracrâniennes de grade I. Le score Apgar mesuré à 5, 7 ou 10 minutes après la naissance s'étendait de 2 à 10, avec une moyenne de 8.38 et un écart-type de 2.65. Enfin, le nombre d'heures de ventilation assistée (invasive ou non) variaient de 0 à 1392 heures (58 jours), avec une

moyenne de 220 heures et un écart-type de 307 heures. 4 enfants ont aussi reçu un traitement par oxygène. En moyenne, les nouveau-nés prématurés ont passé 32 jours dans le service de Néonatalogie du CHU de Caen. Cependant, ce chiffre varie beaucoup d'un enfant à l'autre, soit une étendue de 9 jours à 65 jours et un écart-type de 15 jours. 12 enfants sur les 32 ont été mutés dans un hôpital plus proche de leur domicile avant la fin des soins.

3.1.3. Résultats aux tests et questionnaire standardisés

Pour l'ensemble des analyses de comparaison, les variances étant homogènes pour toutes les variables, un test *t* de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : Groupe) a été appliqué. Les scores des tests standardisés en lien avec la tâche proposée ont été relevés. Parmi les résultats au questionnaire du Conners-3, les scores d'Inattention (Chapitre VI - 2.6.3.2) ont été notés car la tâche de discrimination perceptive était coûteuse en ressources attentionnelles. Les résultats, résumés dans le Tableau 12, n'ont montré aucune différence entre les groupes pour l'ensemble des variables.

Tableau 12. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche de discrimination perceptive pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,78).

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 48	Nés prématurés (PT) N = 32	<i>t</i> de Student	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
M-ABC2 Total (pc)	52.31 (24.83 / 16-98)	48.78 (25.65 / 16-95)	0.615	.540	0.140
M-ABC2 Dextérité manuelle (note standard)	45.25 (26.75 / 5-91)	43.38 (27.18 / 9-95)	0.305	.761	0.070
M-ABC2 Dextérité unimanuelle (note standard)	10.354 (2.264 / 6-15)	9.750 (2.578 / 4-14)	1.106	.272	0.252
M-ABC2 Dextérité bimanuelle (note standard)	10.479 (2.674 / 5-15)	9.53 (2.257 / 4-14)	1.651	.103	0.377
PEGV (scores)	9.938 (0.245 / 9-10)	9.938 (0.246 / 9-10)	0.000	1.00	0.000
Conners-3 DSM-IV Inattention (score T)	53.27 (8.46 / 41-76)	53.25 (6.96 / 42-75)	0.012	.991	0.003

3.2. Description de la tâche de discrimination perceptive

La tâche de discrimination perceptive consistait, comme dans les travaux de Norman et al. (2004), à présenter des paires objets de manière séquentielle, puis de demander à l'enfant, à la fin de chaque présentation d'une paire d'objet, d'indiquer s'ils étaient « pareils » ou non. Les objets étaient présentés dans quatre conditions différentes : intramodale haptique, intramodale visuelle, intermodale haptique-visuelle, intermodale visuelle-haptique.

Les stimuli proposés dans la tâche de discrimination étaient des moulages en plastique de poivrons qui sont des objets non familiers (Figure 26). Ces objets ont été prêtés par le Dr Farley Norman, Professeur et Directeur du Laboratoire Gustav Fechner à l'Université Ouest du Kentucky (Etats-Unis). Afin de proposer l'exploration de ces objets dans la modalité haptique, une boîte en bois contre-plaqué a été construite sur mesure (largeur et longueur : 45 cm, hauteur : 20 cm) et un tissu opaque a été rajouté pour occulter l'intérieur de la boîte (Figure 26). Un feutre épais était aussi placé dans la boîte pour éviter les chocs lors de la manipulation des objets. Enfin, dans la modalité visuelle, les objets étaient présentés sur un plateau tournant à la vitesse de 33 tours par minute. Le choix de la vitesse de rotation renvoie à la méthode utilisée dans les travaux du Dr. Norman (Norman et al., 2008, 2004). Le plateau utilisé était un ancien tourne-disque de la marque *Telefunken* et le support de disque était recouvert d'un feutre épais noir, toujours dans le souci de ne pas abîmer les objets (Figure 26).



Figure 26. Photos du matériel utilisé dans la tâche de discrimination perceptive. En haut, de gauche à droite : le tourne-disque (modalité visuelle), la boîte avec le tissu opaque (modalité haptique). En bas, de gauche à droite : un set de 12 stimuli et deux stimuli.

3.3. Choix des conditions et des paires de stimuli

Les travaux du Dr. Norman, qui ont servi de base pour élaborer cette tâche, ont été réalisés uniquement chez des adultes. Il donc a été nécessaire de vérifier en amont si la tâche était réalisable chez les enfants. Ainsi, différentes phases de pré-tests ont été menées de Mai à Août 2016 dans une garderie de la ville de Caen.

Le premier objectif des pré-tests était de vérifier que les objets étaient utilisables auprès d'enfants et que la tâche était réalisable. 17 enfants âgés de 6 à 10 ans ont participé à ces pré-tests dans la condition intramodale haptique, une condition estimée difficile d'après différentes études menées auprès d'adultes et d'enfants (ex. Norman et al., 2008; Gori et al., 2008; Rudel & Teuber, 1964). Les stimuli étaient constitués de 12 paires identiques et 17 paires différentes. Pour les paires différentes, les paires les plus faciles à différencier ont été choisies pour tester le matériel. Ces paires ont été sélectionnées à partir de la matrice de confusion de l'étude de Norman et al. (2004) qui recensait le nombre de fois où deux objets étaient estimés comme identiques dans une population d'adultes. Les résultats de ce pré-test ont montré un effet plafond positif des performances, révélant que les enfants avaient très bien réussi la tâche.

Le deuxième objectif des pré-tests était d'utiliser d'autres conditions avec un niveau de difficulté plus élevé pour éviter un effet plafond, tout en veillant à ce que les enfants ne se retrouvent pas en trop grande difficulté. 43 enfants de 5 à 10 ans ont participé à ces pré-tests dans la condition intramodale haptique, ou intramodale visuelle, ou intermodale haptique-visuelle. Les stimuli étaient constitués de 12 paires identiques et 12 paires différentes. Les paires les plus difficile à différencier, parmi celles proposées dans la matrice de confusion de l'étude de Norman et al. (2004), ont été choisies. Une analyse statistique (t de Student de comparaison à une moyenne) a mis en évidence que la proportion de bonnes réponses étaient significativement supérieure au hasard dans les conditions intramodale haptique ($t(16) = 2.19, p < .05$) et intramodale visuelle ($t(6) = 7.59, p < .001$). Ce résultat a permis de confirmer que la tâche restait adaptée pour les enfants avec les stimuli estimés difficiles par les adultes.

3.4. Procédure de la tâche de discrimination

Les pré-tests réalisés ont permis de confirmer la faisabilité de la tâche chez les enfants. Par conséquent, la procédure finale était identique à celle utilisée lors des derniers pré-tests. La présentation des objets de chaque paire était séquentielle, avec un temps de présentation de 10 secondes pour le premier objet. L'intervalle inter-stimuli était d'environ 3 secondes. Dans les pré-tests, le temps de réponse maximal était fixé à 10 secondes. Comme certains enfants avaient besoin de plus de temps pour répondre, et que le temps de réponse pouvait aussi être un indicateur de la difficulté de la tâche, il a été décidé de laisser ce temps libre et de le mesurer. Dans la modalité visuelle, le chronomètre était lancé lorsque le deuxième objet était posé de manière stable sur le plateau. Dans la modalité haptique, le chronomètre était lancé lorsque les deux mains de l'enfant étaient posées sur le deuxième objet. Dans les deux modalités, le chronomètre était arrêté lorsque l'enfant commençait à répondre.

Les stimuli finaux étaient composés de 12 paires identiques et de 12 paires différentes de niveau « difficile ». 5 ordres de présentation des paires ont été générés de manière aléatoire. Ces ordres étaient contrebalancés entre les participants. Quatre conditions différentes ont été choisies : intramodale haptique (notée HH), intramodale visuelle (notée VV), intermodale haptique-visuelle (notée HV), intermodale visuelle-haptique (notée VH). Chaque enfant a effectué la tâche dans une seule de ces conditions et le Tableau 14 montre la répartition des effectifs des participants dans les groupes. Un exemple d'installation est illustré par la Figure 27. L'ensemble de la tâche durait entre 10 et 15 minutes selon les conditions et selon les enfants.

Tableau 13. Effectifs des enfants dans la tâche de discrimination perceptive en fonction des conditions.

Conditions	Groupes	
	NT (N = 48)	PT (N = 32)
HH	11	8
VV	12	8
HV	11	8
VH	14	8



Figure 27. Photo d'une enfant effectuant la tâche de discrimination perceptive dans une condition intermodalitaire. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

Les consignes de la tâche étaient les suivantes : *« Mme La Pie a volé plein d'objets bizarres et elle voudrait retrouver ceux qui sont pareils pour les ranger ensemble. Pour aider Mme La Pie on va comparer les objets deux par deux pour savoir s'ils sont pareils ou non. Voilà comment on va faire : je vais te donner / montrer un premier objet et tu auras un petit temps pour le toucher / voir et quand je te dis « Top », je le range. Ensuite je t'en donne / montre un deuxième. Quand tu as trouvé, tu me dis si pour toi le deuxième est pareil ou non que le premier. On va faire cela plein de fois avec à chaque fois deux objets. Tu as compris ? Et bien on y va ! »*. Pour chaque paire, il était indiqué à voix haute à l'enfant *« Voici le premier »* au début de la présentation du premier objet, *« Top »* à la fin du temps d'exploration de cet objet, puis *« Voici le deuxième »* au début de la présentation du deuxième objet.

3.5. Variables dépendantes

Quatre types de réponses étaient possibles dans la tâche proposée : *« HIT »* lorsque l'enfant répondait que les objets étaient différents et qu'ils étaient bien différents ; *« Fausse-Alarme ou FA »* lorsque l'enfant répondait que les objets étaient différents alors qu'ils étaient identiques ; *« Omission ou OM »* lorsque l'enfant répondait que les objets étaient identiques alors qu'ils étaient différents ; et enfin *« Rejet correct ou RC »* lorsque l'enfant répondait que les objets étaient identiques et qu'ils étaient bien identiques.

En se basant sur la fréquence des réponses de type HIT et FA, un indice de sensibilité perceptif « d' », représentant les capacités de discrimination de la forme des objets, ainsi qu'un indice du biais de réponse « c », étaient calculés en se basant sur la théorie de la détection du signal détaillée dans l'ouvrage de Macmillan et Creelman (2005). Un fichier Excel basé sur les Z-scores permettait un calcul automatique de ces indices en indiquant les fréquences de HIT et de FA. Les formules étaient les suivantes : $d' = 2 * \text{Loi.Normale.Standard.Inverse}(0.5 * (1 + \sqrt{(2 * \text{Loi.Normale.Standard}((\text{Score Z}(\text{HIT}) - \text{Score Z}(\text{FA}))/2))})$ et $c = (-0.5) * (\text{Score Z}(\text{HIT}) + \text{Score Z}(\text{FA}))$. Macmillan et Creelman (2005) recommandent, dans le cas où il y a 24 essais par participant, d'utiliser un taux de 0.96 à la place de 1, et un taux de 0.04 à la place de 0. Un indice c élevé révélait un biais de réponse en faveur des réponses du type « objets identiques » (OM ou RC). Comme un indice d' élevé pouvait être dû à de nombreux HIT ou à peu de FA, les fréquences de HIT et de FA ont aussi été analysées comme variables dépendantes. Enfin, les temps de réponses ont été notés car ce sont aussi des indicateurs de performance (Lezak, Howieson, Loring, Hannay, & Fisher, 2004). Les écart-standards des temps de réponse ont été calculés dans un deuxième temps pour avoir un indicateur de leur variabilité. Les écart-standards ont été privilégiés aux écart-types car ils permettaient de prendre en compte les possibles différences d'occurrences pour les quatre types de réponses.

Les variables dépendantes étaient donc l'indice d' , l'indice c , la fréquence de HIT, la fréquence de FA, le temps de réponse et l'écart-standard des temps de réponse. Les variables indépendantes inter-sujets étaient la Condition et le Groupe. Les plans des analyses seront précisés dans la partie résultats.

4. Résultats

4.1. Indices de performances à la tâche de discrimination perceptive

Une fois les conditions d'applications vérifiées (Chapitre VI – 2.7.), des ANOVA à deux variables indépendantes inter-sujets (Groupe et Condition) ont été menées pour les indices de performance d' , c , ainsi que sur les fréquences des HIT et des FA. La variable Condition avait 4 modalités (HH vs. VV vs. HV vs. VH), H représentant la modalité haptique et V la modalité visuelle. La variable Groupe avait 2 modalités (nés à terme vs. nés prématurés). Les groupes étant significativement différents pour le score du statut socioéconomique des responsables

légaux, l'effet de cette variable a aussi été contrôlé en l'introduisant dans un deuxième temps en covariant dans les analyses.

4.1.1. Indice d'

Les analyses statistiques n'ont pas mis en évidence d'effet de la variable Groupe sur l'indice d' , $F(1,75) = 0.317$, $p = .575$, $\eta^2_p = .004$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 1.87$; $ET = 0.97$) et les enfants nés prématuré ($M = 1.76$; $ET = 0.97$). Un effet significatif de la Condition a été observé sur l'indice d' , $F(3,64) = 19.901$, $p < .05$, $\eta^2_p = .483$ ($M_{HH} = 1.42$, $ET_{HH} = 0.48$; $M_{VV} = 2.95$, $ET_{VV} = 0.48$; $M_{HV} = 1.37$, $ET_{HV} = 1.05$; $M_{VH} = 1.51$, $ET_{VH} = 0.79$) (Figure 28). Cet effet a été analysé par un test post-hoc de Bonferroni. Ce test a mis en évidence des différences significatives entre la condition VV et les trois autres conditions (HH, HV et VH), l'indice d' étant significativement plus grand dans la condition VV. que dans les trois la condition HH. Aucune différence n'a été relevée entre les conditions HH, HV et VH. Ces résultats sont synthétisés sur la Figure 28. Aucun effet d'interaction n'a été observé entre le Groupe et la Condition, $F(3,72) = 0.270$, $p = .847$, $\eta^2_p = .011$. Aucun effet du score socioéconomique n'a été montré sur l'indice d' , $F(1,71) = 0.211$; $p = .648$, $\eta^2_p = .003$.

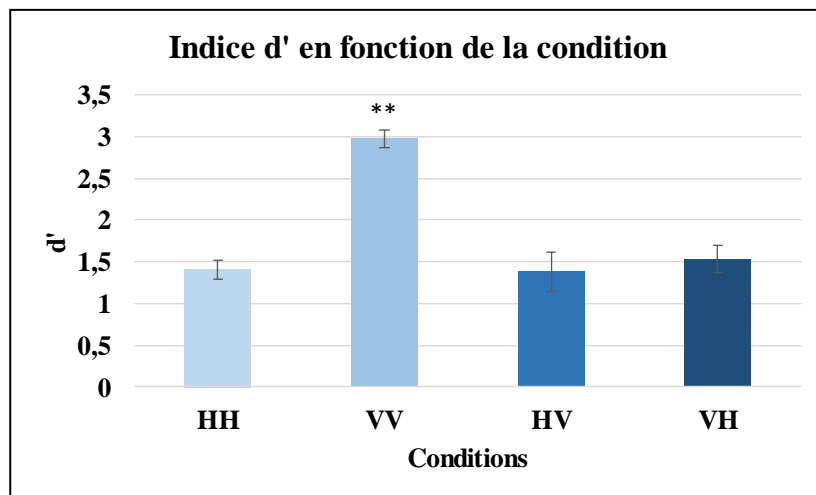


Figure 28. Histogramme des valeurs moyennes de l'indice d' dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent à la condition significativement différente des autres.

4.1.2. Indice c

Les analyses statistiques n'ont pas mis en évidence d'effet de la variable Groupe sur l'indice c , $F(1,72) = 1.386$, $p = .243$, $\eta^2_p = .019$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.25$; $ET = 0.39$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.37$; $ET = 0.42$). Un effet significatif de la Condition a été observé, $F(3,64) = 3.473$, $p < .05$, $\eta^2_p = .140$ ($M_{HH} = 0.32$, $ET_{HH} = 0.39$; $M_{VV} = 0.08$, $ET_{VV} = 0.33$; $M_{HV} = 0.43$, $ET_{HV} = 0.33$; $M_{VH} = 0.37$, $ET_{VH} = 0.38$) (Figure 29). Cet effet a été analysé par des comparaisons planifiées entre les conditions intramodales et les conditions intermodales. Les résultats ont montré un effet significatif du type de condition sur l'indice c , $F(1,78) = 5.409$, $p < .05$, $\eta^2_p = .065$, qui était significativement plus élevé dans les conditions intermodales ($M = 0.40$, $ET = 0.36$) que dans les conditions intramodales ($M = 0.20$; $ET = 0.36$) (Figure 29). Aucun effet d'interaction n'a été observé entre le Groupe et la Condition, $F(3,72) = 0.487$, $p = .692$, $\eta^2_p = .020$. Aucun effet du score socioéconomique n'a été montré, $F(1,71) = 1.746$, $p = 0.191$, $\eta^2_p = .024$.

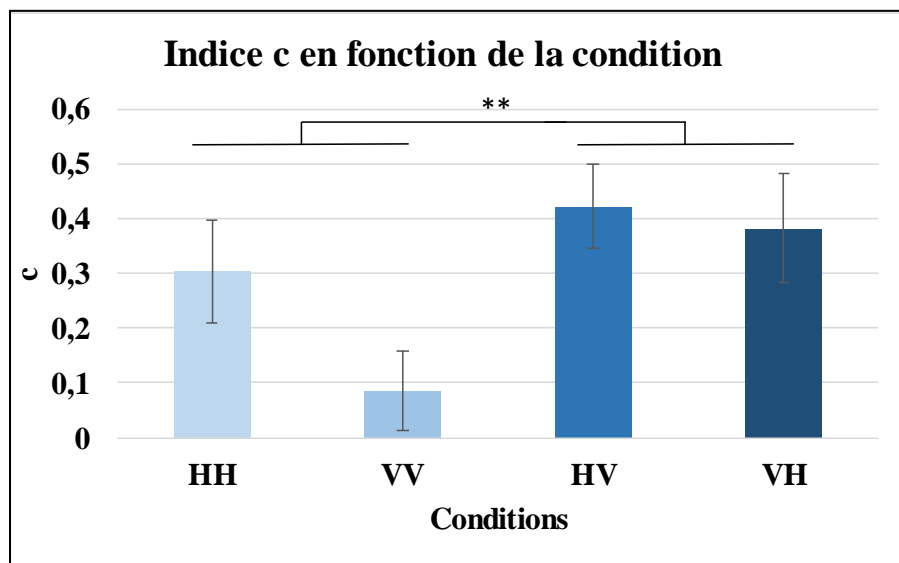


Figure 29. Histogramme des valeurs moyennes de l'indice c dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent une différence statistiquement significative.

4.1.3. Fréquences des HIT

Pour vérifier en amont que les réponses étaient différentes de réponses données au hasard, les fréquences des HIT dans chaque condition ont été comparées à la valeur de 0.5 (fréquence théorique lorsque la réponse est donnée au hasard), en utilisant un test t de comparaison d'un échantillon à une moyenne (ici 0.5). Les résultats ont montré que les fréquences des HIT dans la condition HH n'étaient pas différentes du hasard, $t(18) = 0.66$, $p = .517$. Les fréquences des HIT dans la condition HV n'étaient pas non plus différentes du hasard, $t(19) = 0.18$, $p = .858$. Les fréquences des HIT dans la condition VH n'étaient pas non plus différentes du hasard, $t(20) = 0.54$, $p = .596$. Les fréquences des HIT dans la condition VV étaient cependant significativement supérieures au hasard, $t(19) = 15.75$, $p = .422$.

Les analyses statistiques de type ANOVA n'ont pas mis en évidence d'effet de la variable Groupe sur la fréquence des HIT, $F(1,72) = 2.059$, $p = .156$, $\eta^2_p = .028$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.62$; $ET = 0.19$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.56$; $ET = 0.22$). Un effet significatif de la Condition a été observé, $F(3,72) = 19.624$, $p < .05$, $\eta^2_p = .456$ ($M_{HH} = 0.53$, $ET_{HH} = 0.17$; $M_{VV} = 0.83$, $ET_{VV} = 0.10$; $M_{HV} = 0.49$, $ET_{HV} = 0.18$; $M_{VH} = 0.53$, $ET_{VH} = 0.18$) (Figure 30). Un test post-hoc de type Bonferroni a été mené pour comparer les conditions. Il a mis en évidence des différences significatives entre la condition VV et les trois autres conditions (HH, HV et VH), la fréquence des HIT étant significativement plus élevée dans la condition VV. Aucune différence n'a été relevée entre les conditions HH, HV et VH. L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans la Figure 30. Aucun effet d'interaction entre le Groupe et la Condition n'a été observé, $F(3,72) = 0.177$, $p = .912$, $\eta^2_p = .007$. Aucun effet du score socioéconomique n'a été révélé, $F(1,71) = 0.166$, $p = .919$, $\eta^2_p = .007$.

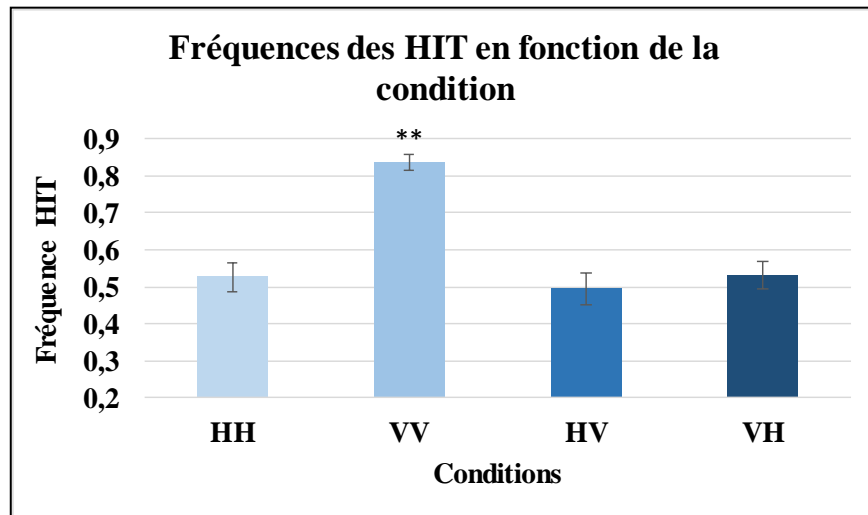


Figure 30. Histogramme des valeurs moyennes de la fréquence des HIT dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent à la condition significativement différente des autres.

4.1.4. Fréquences des FA

Les analyses statistiques n'ont pas mis en évidence d'effet de la variable Groupe sur la fréquence des FA, $F(1,72) = 1.118$, $p = .294$, $\eta^2_p = .015$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.22$, $ET = 0.15$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.19$, $ET = 0.11$). Un effet significatif de la Condition a été observé, $F(3,72) = 3.685$, $p < .05$, $\eta^2_p = .133$ ($M_{HH} = 0.27$, $ET_{HH} = 0.13$; $M_{VV} = 0.12$, $ET_{VV} = 0.10$; $M_{HV} = 0.22$, $ET_{HV} = 0.12$; $M_{VH} = 0.23$, $ET_{VH} = 0.16$). Un test post-hoc de Bonferroni a été mené pour comparer les conditions. Il a mis en évidence une différence significative entre la condition VV et les trois autres conditions (HH, HV et VH), la fréquence des FA étant significativement plus basse dans le condition VV. Aucune différence n'a été relevée entre les conditions HH, HV et VH. L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans la Figure 31. Aucun effet d'interaction entre le Groupe et la Condition n'a été observé, $F(3,72) = 0.914$, $p = .439$, $\eta^2_p = .037$. Aucun effet du score socioéconomique n'a été montré sur la fréquence des FA, $F(1,71) = 0.953$, $p = .230$, $\eta^2_p = .020$.

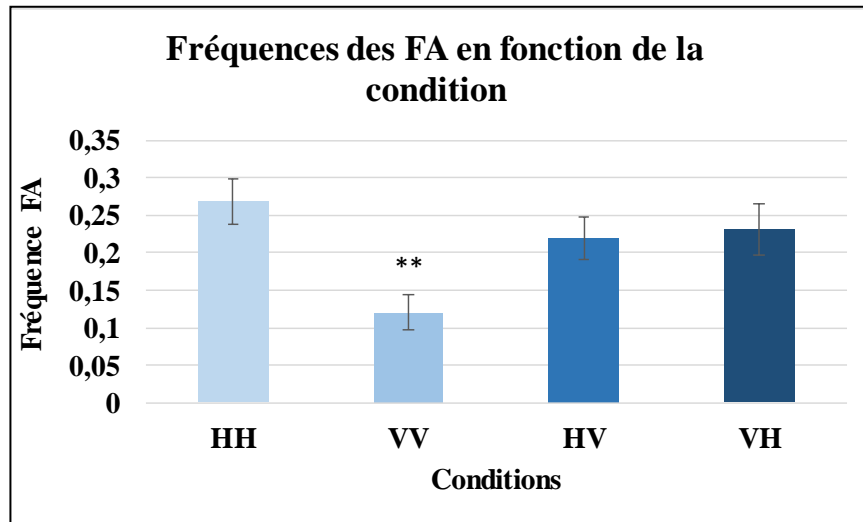


Figure 31. Histogramme des valeurs moyennes de la fréquence des FA dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent la condition statistiquement différente des autres.

4.2. Temps de réponse à la tâche de discrimination perceptive

Une fois les conditions d'applications vérifiées (Chapitre VI – 2.7.), des ANOVA mixtes avec deux variables indépendantes inter-sujets (Groupe et Condition) décrits précédemment et une variable indépendante intra-sujets (Type de réponse, 4 modalités : HIT vs. FA vs. RC vs. OM) ont été réalisées pour les temps de réponse et écart-standards des temps de réponse. Dans le cas de données manquantes, par exemple lorsque le type de réponse était absent de la passation, ou lorsque le calcul d'un écart-standard était impossible, la valeur manquante était remplacée par la moyenne du type de réponse au sein du même groupe de participant. Les groupes étant significativement différents pour le score du statut socioéconomique des responsables légaux, l'effet de cette variable a aussi été contrôlé en l'introduisant dans un deuxième temps en covariant dans les analyses. Enfin, des analyses de régression linéaires ont été menées pour étudier, en fonction du groupe, le lien entre les temps de réponse moyen et l'indice de performance d' .

4.2.1. Analyses des moyennes des temps de réponse

En suivant les recommandations de Field (2009), une transformation du type racine carré a été préalablement appliquée sur les données afin de normaliser au mieux la distribution, et un problème de sphéricité (test de Mauchly) a conduit à l'application d'une correction de Greenhouse-Geisser. Les analyses statistiques ont mis en évidence un effet significatif de la variable Groupe sur les temps de réponse (sec), $F(1,72) = 5.379$, $p < .05$, $\eta^2_p = .069$, qui étaient plus longs pour les enfants nés à terme ($M = 6.65$; $ET = 3.37$) que pour les enfants nés prématurés ($M = 5.64$; $ET = 2.84$).

Un effet significatif de la variable Condition a aussi été trouvé, $F(3,72) = 27.365$, $p < .05$, $\eta^2_p = .533$ ($M_{HH} = 6.76$, $ET_{HH} = 2.58$; $M_{VV} = 4.42$, $ET_{VV} = 1.83$; $M_{HV} = 4.73$, $ET_{HV} = 1.89$; $M_{VH} = 8.77$, $ET_{VH} = 3.18$) (Figure 32). Un test post-hoc de type Bonferroni a été mené pour comparer les conditions. Il a mis en évidence une différence significative entre la condition VV et HH, $t(72) = 4.68$, $p < .05$, $d_{Cohen} = 0.52$, les temps de réponse étant plus longs dans la condition HH que dans la condition VV. Une différence significative a été révélée entre les conditions VV et VH, $t(72) = 7.94$, $p < .05$, $d_{Cohen} = 0.89$, les temps de réponse étant plus longs dans la condition VH que dans la condition VV. Une différence significative a été montrée entre les conditions HH et HV, $t(72) = 3.94$, $p < .05$, $d_{Cohen} = 0.44$, les temps de réponse étant plus longs dans les conditions HH que dans la condition HV. Une différence significative a été montrée entre les conditions HH et VH, $t(72) = -3.12$, $p < .05$, $d_{Cohen} = -0.35$, les temps de réponse étant significativement plus long dans la condition VH que dans la condition HH. Et enfin, une différence significative a été mise en évidence entre les conditions HV et VH, $t(72) = -7.16$, $p < .05$, $d_{Cohen} = -0.80$, les temps de réponse étant plus longs dans la condition VH que dans la condition HV. Aucune différence n'a été montrée entre les conditions VV et HV, $F(1,37) = 0.773$, $p = .384$, $\eta^2_p = .020$. L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans la Figure 32. L'analyse n'a pas mis en exergue d'effet d'interaction entre le Groupe et la Condition, $F(3,72) = 0.914$, $p = .439$, $\eta^2_p = .037$.

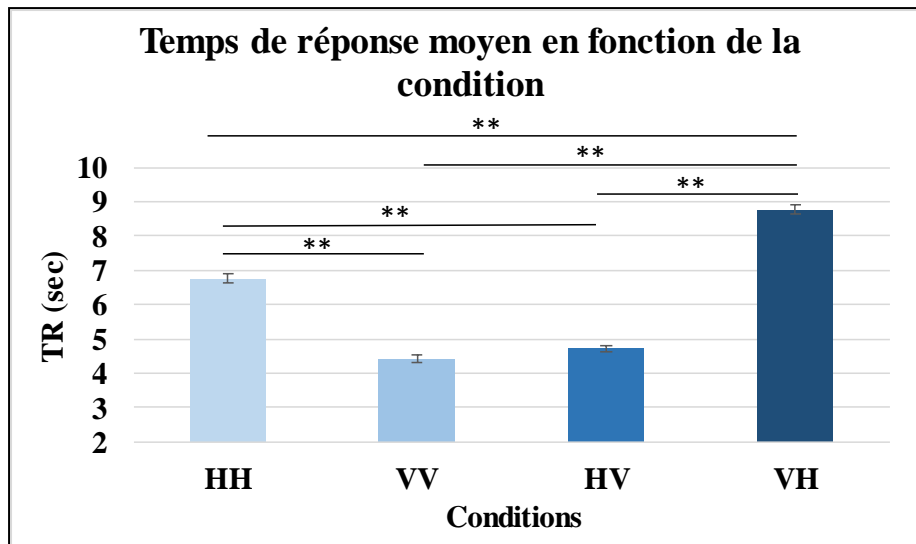


Figure 32. Histogramme des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à +/- 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives.

Par ailleurs, les analyses ont montré un effet significatif de la variable Type de réponse, $F(2.579, 185.722) = 18.096$, $p < .05$, $\eta^2_p = .201$ ($M_{HIT} = 5.77$, $ET_{HIT} = 2.91$; $M_{FA} = 7.67$, $ET_{FA} = 3.85$; $M_{OM} = 6.13$, $ET_{OM} = 2.72$; $M_{RC} = 5.43$, $ET_{RC} = 2.76$) (Figure 33). Une analyse post-hoc de type Bonferroni a révélé des différences significatives entre les temps de réponse des FA et les temps de réponse des autres types de réponse (HIT, RC et OM). Les temps de réponse des FA étaient significativement plus longs que ceux des autres types de réponses. Aucune différence n'a été mise en exergue entre les temps de réponse des HIT, des RC et des OM. Les résultats sont synthétisés dans la Figure 33.

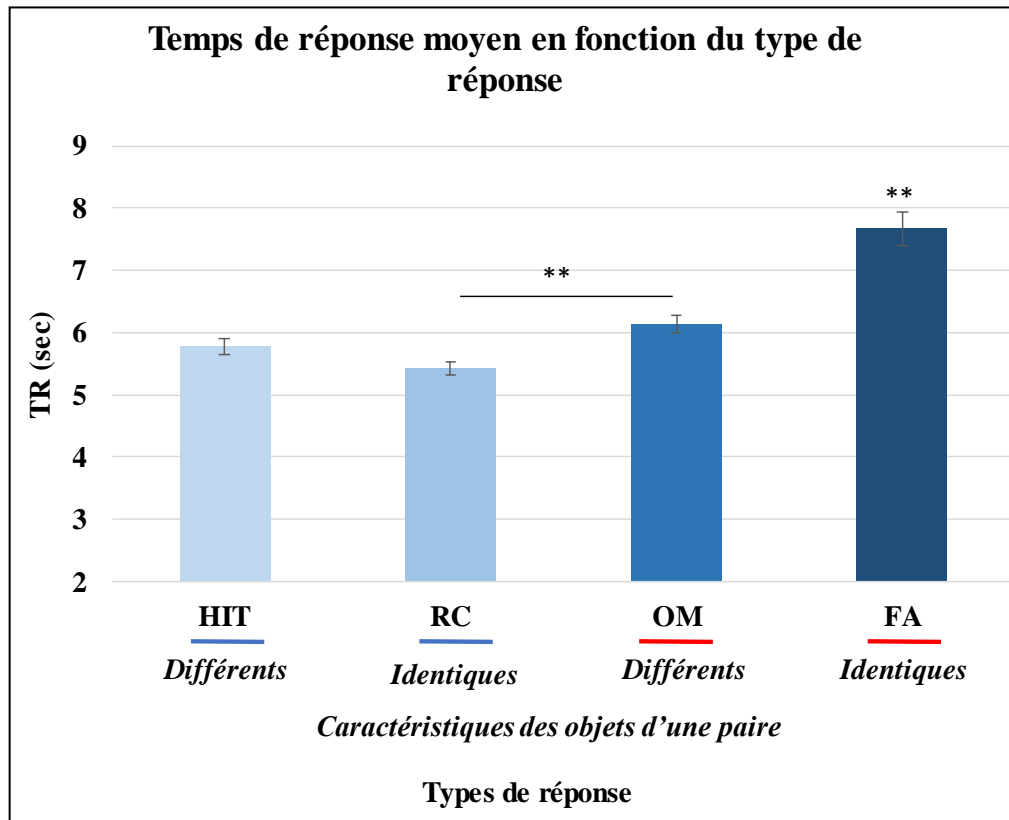


Figure 33. Histogramme des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes en fonction du type de réponse. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

Les analyses statistiques ont mis en évidence un effet significatif de l'interaction entre le Type de réponse et le Groupe, $F(2.579, 185.722) = 2.579, p < .05, \eta_p^2 = .044$ (Figure 34). Une analyse post-hoc de type Bonferroni a montré une différence significative entre les deux groupes seulement pour les réponses de type FA, les temps de réponse des FA étant plus longs pour les enfants nés à terme ($M_{FA.NT} = 7.88$; $ET_{FA.NT} = 0.32$) que pour les enfants nés prématurés ($M_{FA.PT} = 6.02$; $ET_{FA.PT} = 0.18$). En effet, la distribution des temps de réponse aux FA en fonction de l'indice d' pour les deux groupes d'enfants (Figure 35) montre que les enfants nés à terme étaient majoritaires pour les temps de réponses longs (supérieur à 10 sec) dans le cas où l'enfant répondait que les objets étaient différents alors qu'ils étaient identiques. Aucune différence entre les deux groupes n'était observée pour les HIT, OM et RC. Pour les HIT, les temps de réponse étaient comparables entre les enfants nés à terme ($M_{HIT.NT} = 5.64$; $ET_{HIT.NT} = 0.13$) et les enfants nés prématurés ($M_{HIT.PT} = 4.94$; $ET_{HIT.PT} = 0.11$). Pour les OM, les temps de réponses étaient comparables entre les enfants nés

à terme ($M_{OM.NT} = 6.14$; $ET_{OM.NT} = 0.24$) et les enfants nés prématurés ($M_{OM.PT} = 5.29$; $ET_{OM.PT} = 0.16$). Pour les RC, les temps de réponses étaient comparables entre les enfants nés à terme ($M_{RC.NT} = 5.06$; $ET_{RC.NT} = 0.12$) et les enfants nés prématurés ($M_{RC.PT} = 4.98$; $ET_{RC.PT} = 0.24$). Les résultats sont synthétisés dans la Figure 34.

Enfin, les analyses n'ont pas mis en exergue d'effet d'interaction entre le Type de réponse et la Condition, $F(7.738, 185.722) = 1.670$, $p = .111$, $\eta^2_p = .065$, ni d'effet d'interaction entre le Type de réponse, la Condition et le Groupe, $F(7.738, 185.722) = 1.644$, $p = .117$, $\eta^2_p = .064$. Aucun effet du score socioéconomique n'a été révélé, $F(1,71) = 0.526$, $p = .471$, $\eta^2_p = .007$.

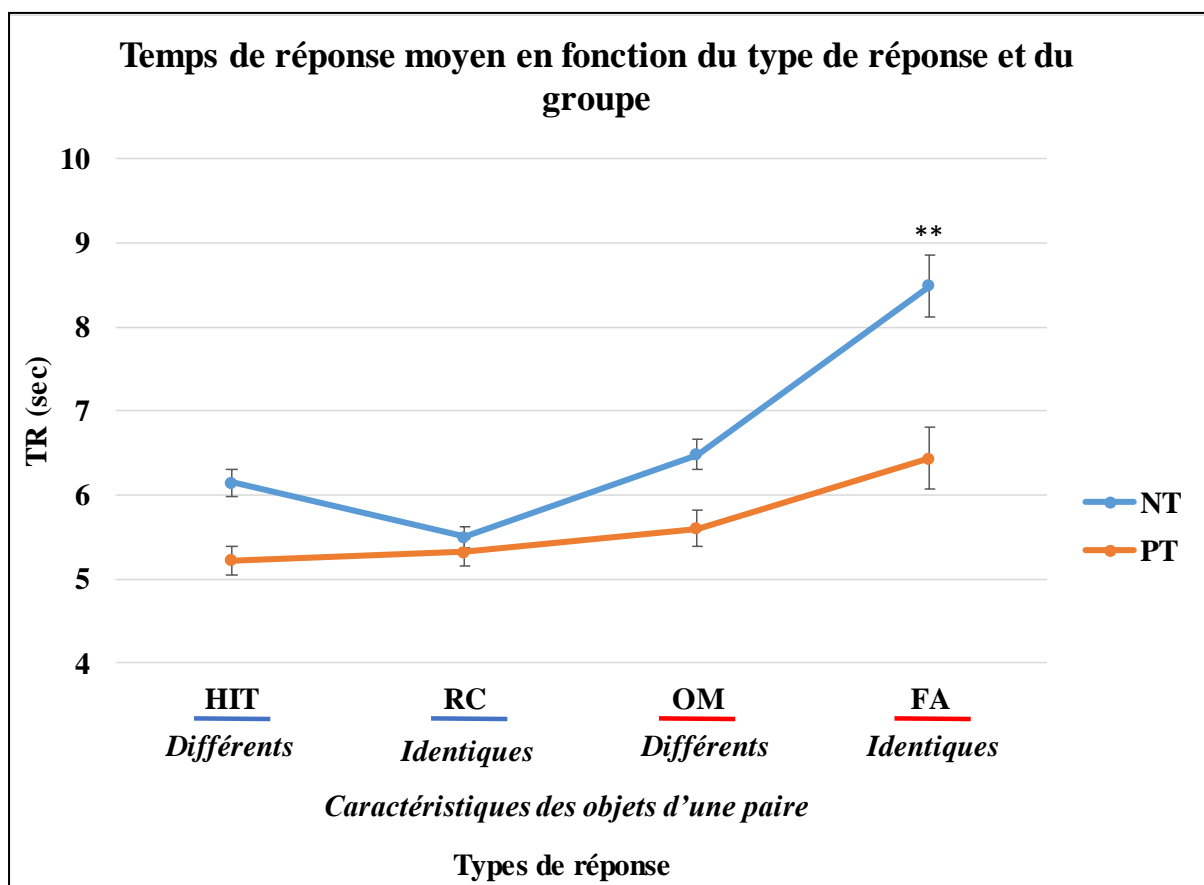


Figure 34. Courbes des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes en fonction du type de réponse et du groupe. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives entre les groupes. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

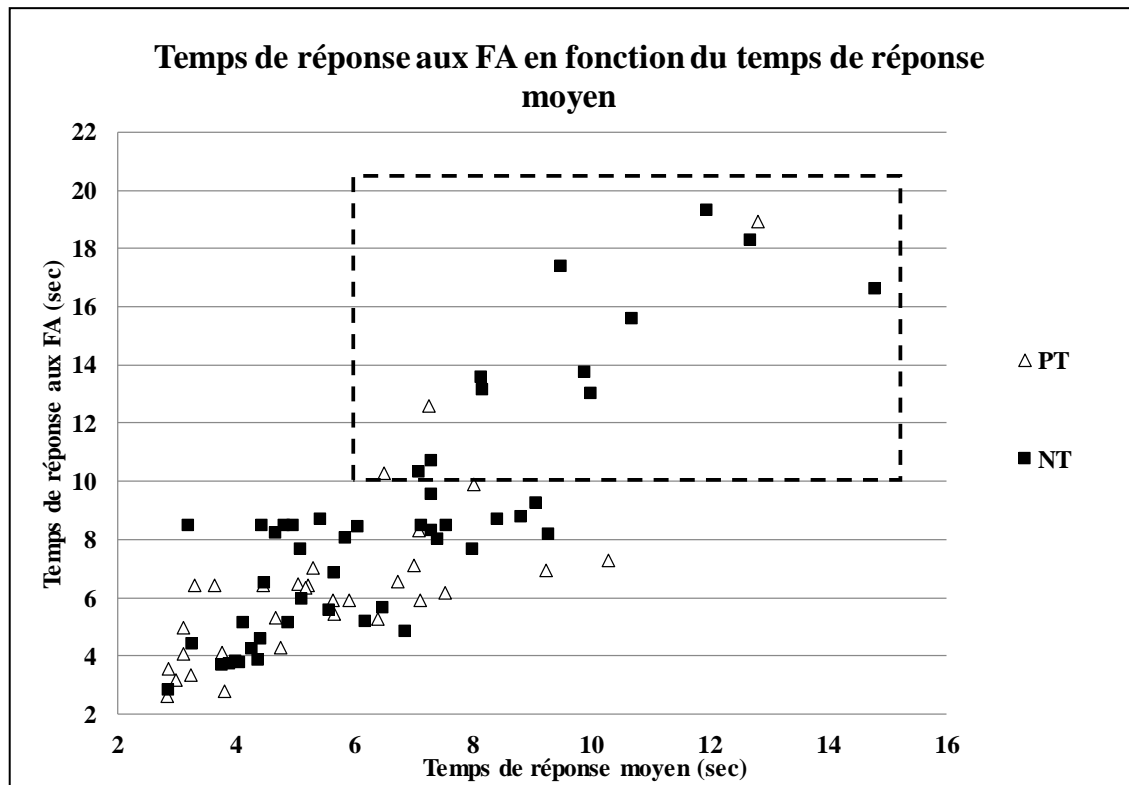


Figure 35. Distribution des temps de réponse aux FA en fonction des temps de réponse moyens pour les deux groupes d'enfants. Le rectangle indique le groupe d'enfant dont les temps de réponse aux FA sont élevés (supérieurs à 10 sec).

4.2.2. Liens entre les temps de réponse et l'indice de performance d'

Pour étudier le lien entre les temps de réponse et l'indice de performance d' , une analyse de régression linéaire a été menée pour ces deux variables indépendamment de la condition. Les résultats n'ont pas mis en évidence de lien entre les temps de réponse et l'indice d' , $F(1,78) = 3.676$, $p = .059$, $R^2_{ajusté} = .033$. Ce résultat peut être mis en lien avec une variabilité interindividuelle importante au sein des deux groupes d'enfants en termes de temps de réponse.

4.2.3. Analyses des écart-standards des temps de réponse

Un problème de sphéricité (test de Mauchly) a conduit à l'application d'une correction de Greenhouse-Geisser. Les analyses ont révélé un effet significatif de la Condition sur les écart-standards des temps de réponse, $F(3,72) = 8.138$, $p < .05$, $\eta^2_p = .253$ ($M_{HH} = 0.23$, $ET_{HH} = 0.14$; $M_{VV} = 0.16$, $ET_{VV} = 0.08$; $M_{HV} = 0.16$, $ET_{HV} = 0.09$; $M_{VH} = 0.25$, $ET_{VH} = 0.13$)

(Figure 36). Un test post-hoc de type Bonferroni a été mené pour comparer les conditions. Il a mis en évidence une différence significative entre les conditions VV et HH, $t(72) = 2.72$, $p < .05$, $d_{Cohen} = 0.30$, les écart-standards étant plus grands dans la condition HH que dans la condition VV. Une différence significative a été montrée entre les conditions VV et VH, $t(72) = 4.16$, $p < .05$, $d_{Cohen} = 0.46$, les écart-standards étant plus grands dans la condition VH que dans la condition VV. Une différence significative a été révélée entre les conditions HV et VH, $t(72) = -3.93$, $p < .05$; $d_{Cohen} = -0.44$, les écart-standards étant plus grands dans la condition VH que dans la condition HV. Aucune différence n'a été montrée entre les conditions HH et HV, $t(72) = 2.52$, $p = .08$, $d_{Cohen} = 0.28$, ni entre les conditions HH et VH, $t(72) = -1.35$, $p = 1.00$, $d_{Cohen} = -0.15$, ni entre les conditions VV et HV, $t(72) = 0.19$, $p = 1.00$, $d_{Cohen} = 0.02$. L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans la Figure 36.

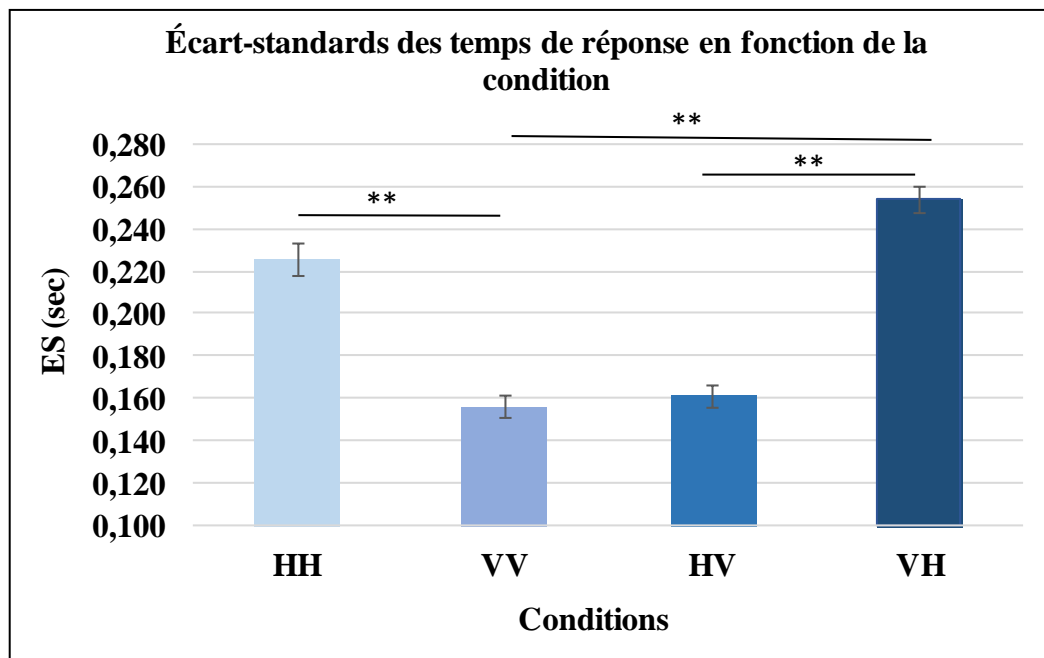


Figure 36. Histogramme des écart-standards des temps de réponse en secondes en fonction des conditions. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives.

Par ailleurs, les analyses ont mis en exergue un effet significatif du Type de réponse sur les écart-standards des temps de réponse, $F(2.261, 162.759) = 32.215$, $p < .05$, $\eta^2_p = .309$ ($M_{HIT} = 0.15$, $ET_{HIT} = 0.09$; $M_{FA} = 0.30$, $ET_{FA} = 0.18$; $M_{OM} = 0.20$, $ET_{OM} = 0.12$; $M_{RC} = 0.15$, $ET_{RC} = 0.10$) (Figure 37). Une analyse de post-hoc de type Bonferroni a montré que les écart-standards des temps de réponse étaient significativement supérieurs pour les FA par rapport

aux autres types de réponse (HIT, RC et OM). L'analyse a aussi révélé que les écart-standards étaient plus grands pour les OM que pour les RC. Aucune différence n'a été mise en exergue entre les HIT et les RC. L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans la Figure 37.

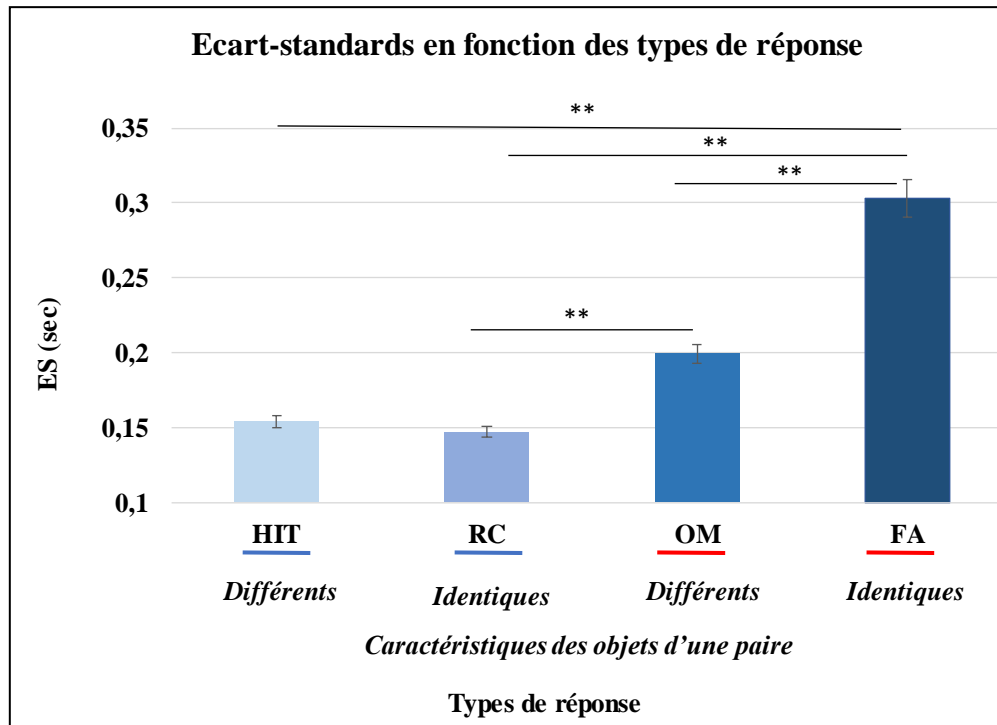


Figure 37. Histogramme des écart-standards des temps de réponses en fonction des types de réponse. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives entre les groupes. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

Aucun effet du Groupe n'a été trouvé sur les écart-standards des temps de réponse, $F(1,72) = 0.014$, $p = .905$, $\eta^2_p = .000$. Aucun effet d'interaction entre le Groupe et la Condition n'a été montré, $F(3,72) = 0.173$, $p = .915$, $\eta^2_p = .007$, ni d'effet d'interaction entre le Groupe et le Type de réponse, $F(2.261,162.759) = 2.642$, $p = .067$, $\eta^2_p = .035$, ni d'effet d'interaction entre le Type de réponse et la Condition, $F(6.782,162.759) = 0.765$, $p = .614$, $\eta^2_p = .031$, ni d'effet d'interaction entre le Groupe, le Type de réponse et la Condition $F(6.782,162.759) = 0.673$, $p = .690$, $\eta^2_p = .027$. Enfin, aucun effet du score socioéconomique n'a été montré, $F(1,71) = 0.122$; $p = .728$; $\eta^2_p = .002$.

4.3. Liens entre le sexe des participants et la performance à la tâche de discrimination perceptive

Pour étudier l'effet de la variable catégorielle Sexe (2 modalités : Filles vs. Garçons) sur la performance de discrimination perceptive en fonction des groupes, une ANOVA à trois facteurs inter-sujets (Groupe, Condition et Sexe) a été menée sur l'indice d' après avoir vérifié les conditions d'application. Les résultats de l'analyse ont mis en évidence un effet significatif du Sexe sur les performances, $F(1,64) = 6.197$, $p < .05$, $\eta^2_p = .088$, les filles ($M = 2.021$; $ET = 0.118$) ayant de meilleures performances que les garçons ($M = 1.621$; $ET = 0.115$). Cet effet ne dépendait pas du groupe car il n'y a pas d'effet d'interaction entre le Groupe et le Sexe sur la performance, $F(1,64) = 0.207$, $p = .651$, $\eta^2_p = .003$. Aucun d'effet d'interaction entre la Condition et le Sexe n'a été observé, $F(3,64) = 1.561$, $p = .207$, $\eta^2_p = .068$.

4.4. Liens entre les scores aux tests standardisés de Dextérité manuelle et l'indice d'

Pour étudier l'effet des habiletés de la dextérité manuelle sur la performance de discrimination perceptive, une analyse de régression multiple a été menée pour l'indice de performance d' . Le score standard de dextérité unimanuelle du M-ABC2 et le score standard de dextérité bimanuelle du M-ABC2 étaient introduits indépendamment comme facteur explicatif. Les résultats ont mis en évidence un effet significatif du score de dextérité bimanuelle, $t(78) = 2.451$, $p < .05$, $R^2_{ajusté} = .082$. L'indice d' augmente avec l'augmentation du score en dextérité manuelle. Aucun effet du score en dextérité unimanuelle sur l'indice de performance d' n'a été révélé, $t(78) = 1.413$, $p = .162$, $R^2_{ajusté} = .012$.

4.5. Liens entre les performances à la tâche de discrimination perceptive et des mesures périnatales

Des analyses de régression linéaire ont été effectuées spécifiquement pour le groupe des enfants nés prématurés afin d'étudier les liens entre des mesures périnatales et les performances à la tâche de discrimination perceptive. Seul l'indice d' moyen a été retenu comme variable reflétant la performance à la tâche de discrimination (Tableau 14). Les résultats n'ont montré aucun lien significatif entre les différentes variables.

Tableau 14. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et la performance à la tâche de discrimination perceptive. Les degrés de liberté sont indiqués entre parenthèses.

	<i>d'</i> moyen (1,30)
Sessions peau-à-peau	$F = 0.049, p = .826, R^2_{ajusté} = -0.32$
Age gestationnel (SA)	$F = 2.164, p = .152, R^2_{ajusté} = 0.036$
Heures de ventilation assistée	$F = 3.315, p = .079, R^2_{ajusté} = 0.069$

5. Discussion des résultats

5.1. Des performances intramodales et intermodales comparables chez les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme

L'hypothèse initialement posée portait sur la comparaison des performances d'enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental et de celles d'enfants nés à terme dans une tâche de discrimination de la forme d'objets tridimensionnels non familiers et écologiques dans les modalités haptique et visuelle. Il était attendu que les enfants nés prématurés soient plus en difficulté que les enfants nés à terme pour percevoir les équivalences intermodales dans les conditions intermodales proposées.

Les résultats de la condition intermodale haptique – visuelle ont révélé des performances comparables entre les deux groupes d'enfants. Ils ont donc confirmé, chez des enfants âgés de 8 ans, les résultats de Rose et al. (1998) obtenus chez des enfants âgés de 11 ans et mettant en évidence des habiletés comparables de perception des équivalences intermodales chez les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme, dans le sens de la modalité haptique vers la modalité visuelle. Les résultats de la condition intermodale visuelle – haptique, utilisée pour la première fois auprès d'enfants nés prématurés, ont aussi montré des performances comparables entre les deux groupes. De plus, les résultats concernant la fréquence des HIT et des FA, ainsi que ceux de l'indice c , ont aussi mis en évidence des profils de réponse semblables dans les deux groupes d'enfants pour les deux conditions intermodales, montrant ainsi d'utilisation de stratégies de réponses comparables.

Par conséquent, même si les conditions intermodales étaient peu réussies pour les deux groupes d'enfants, les résultats ont mis en évidence que les enfants nés grands prématurés

sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental n'avaient pas plus de difficultés que les enfants nés à terme pour percevoir les équivalences intermodales dans les modalités haptique et visuelle. Le retard supposé par Rose et al. (1978) chez des nourrissons nés prématurés en termes de perception des équivalences intermodales aurait donc été rattrapé à l'âge de 8 ans, que le transfert des informations s'effectue de la modalité haptique vers la modalité visuelle ou de la modalité visuelle vers la modalité haptique.

Les résultats observés dans les conditions intramodales haptique et visuelle ont confirmé l'hypothèse selon laquelle les performances des deux groupes d'enfants seraient comparables dans ces conditions. En effet, les résultats de la condition intramodale haptique ont montré, chez les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, des habiletés de perception des informations haptiques comparables à celles des enfants nés à terme. Ainsi, une des hypothèses de l'étude de Rose, Gottfried, et Bridger (1978), menée chez des nourrissons et avançant l'existence d'une perception haptique moins performante, n'est pas vérifiée à l'âge de 8 ans. Les performances observées dans la condition intramodale visuelle rejoignent celles observées dans l'étude de Rose, Gottfried, et Bridger (1978) ne montrant pas de différences entre des nourrissons nés prématurés et des nourrissons nés à terme dans cette modalité. Ainsi, les données recueillies ici auprès d'enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans ont mis en évidence une perception des informations visuelle et haptique comparable à celles d'enfants nés à terme du même âge.

5.2. Des performances modulées par des difficultés attentionnelles chez les enfants nés prématurés

Les temps de réponse étaient des indicateurs qui n'avaient pas été utilisés dans la littérature précédemment recensée chez les enfants. Or les temps de réponses sont des indicateurs des ressources attentionnelles allouées à une tâche de discrimination perceptive. Les résultats ont montré que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans répondaient en moyenne plus rapidement que les enfants nés à terme du même âge. La variabilité des temps de réponse était aussi importante dans les deux groupes, ce qui ne faisait pas ressortir de stratégies de réponse spécifiques. En revanche, l'hypothèse de capacités de ressources attentionnelles différentes entre les deux groupes d'enfants reste plausible.

L'analyse des temps de réponse a révélé une interaction entre le groupe et le type de réponse selon laquelle les enfants nés prématurés répondaient significativement plus rapidement que les enfants typiques mais uniquement pour donner des réponses du type FA. Les FA étaient de mauvaises réponses où l'enfant répondait que les objets étaient différents alors qu'ils étaient identiques. La distribution des temps de réponse lors des FA illustre bien ce résultat car, sur les 14 enfants qui avaient des temps supérieurs à 10 secondes, 11 sont nés à terme. Les temps de réponse plus courts observés lors des FA chez les enfants nés prématurés par rapport aux enfants nés à terme ne pouvaient pas être interprétés en termes d'impulsivité, ni de moins bonnes capacités à identifier des paires identiques. Si tel était le cas, alors les enfants nés prématurés auraient systématiquement répondu plus rapidement que les enfants nés à terme quel que soit le type de réponse donnée. Cette interaction pourrait être associée à un biais de réponse négatif, c'est-à-dire avoir plus tendance à dire que les objets étaient différents, mais l'indice c n'était pas différent entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme.

Une autre interprétation possible serait de partir du postulat que détecter une différence entre deux formes, qui nécessite la perception d'un seul élément différent, serait plus facile que de détecter une identité entre deux formes, qui nécessite la perception de l'ensemble des informations associées à ces dernières. En effet, percevoir la forme d'un objet dans les modalités visuelle et haptique est un processus séquentiel. Dans la modalité visuelle, une des théories de l'attention visuelle basée sur la localisation spatiale soutient qu'il n'est pas possible de percevoir toutes les informations de manière simultanée et que la forme de l'objet doit être balayée par un focus attentionnel (LaBerge & Brown, 1989; Vecera & Farah, 1994). Dans la modalité haptique, la perception des informations associées à la forme d'un objet implique des procédures exploratoires séquentielles (Lederman & Klatzky, 1993). Par ailleurs, le transfert des informations d'un objet à un autre, ou d'une modalité à une autre, implique la mémoire de travail (Baddeley, 1992) qui permet la mobilisation des informations perçues en mémoire à court terme pour comparer la forme des objets.

Or, les difficultés attentionnelles et de mémoire de travail font partie des difficultés cognitives plus fréquemment observées dans la population des enfants nés grands prématurés que dans celle des enfants nés à terme (ex. De Kieviet, Van Elburg, Lafeber, & Oosterlaan, 2012). Il pourrait donc être possible que les temps de réponses plus longs des enfants nés à terme lors des réponses de type FA traduisent de meilleures compétences en mémoire de travail. Ainsi, les FA reflétant l'absence de perception de l'identité de forme de deux objets identiques, les enfants nés à terme auraient plus de ressources pour faire face à ce problème et

disposeraient donc de plus de temps pour tenter de le résoudre. Les enfants nés prématurés disposant de moins de ressources en mémoire de travail auraient plus de difficulté à manipuler les informations perçues pour le premier objet sur le long terme et donneraient donc une réponse plus rapide.

5.3. Effet des facteurs de risque et de protection liés à la prématurité sur la perception intramodalitaire et intermodalitaire de l'enfant né prématuré

Dans l'hypothèse qu'une naissance prématurée influence le développement des habiletés de perception des équivalences intermodalitaires, différents facteurs périnataux, estimés comme des facteurs de risque ou de protection, ont été testés : l'âge gestationnel, le nombre d'heures de ventilation assistées et le nombre de sessions de peau-à-peau. Les analyses n'ont pas mis en relation ces facteurs et la performance des enfants nés prématurés dans la tâche de discrimination perceptive. L'âge gestationnel et le nombre d'heures de ventilation qui sont des facteurs de risque pour le développement des nourrissons nés prématurés (Fily et al., 2006) n'ont pas eu d'effet à long terme sur les capacités perceptives tactiles et visuelles. Aucun lien n'a été observé entre le nombre d'heures de peau à peau et les performances des enfants anciens prématurés. Il est alors possible que les effets potentiellement délétères de l'âge gestationnel soient associés à un retard de développement récupéré à l'âge de 8 ans. Il se pourrait également que les séances de peau-à-peau (ex. meilleures réponses cérébrales à un stimuli tactile (Maitre et al., 2017)) aient eu un impact protecteur à long terme sur les habiletés de discrimination perceptive dans les modalités haptique et visuelle.

5.4. Des performances de discrimination liées aux capacités de dextérité manuelle

La tâche de discrimination perceptive impliquait des habiletés de dextérité manuelle fine permettant la perception des informations haptiques. Ces dernières ont été évaluées au travers de tâches proposées par la batterie standardisée M-ABC2. Ces tests standardisés n'ont pas mis en évidence de différence entre les enfants nés à terme et les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental pour ces tâches de dextérité manuelle, que ces dernières mobilisent une seule ou les deux mains. Ces résultats différaient donc de ceux de Caravale, Tozzi, Albino, et Vicari (2005), De Rose et al. (2013), Liebhadt, Sontheimer, et Linderkamp (2000), Pietz et al. (2004) et Torrioli et al. (2000). En effet, ces études avaient révélé des difficultés plus importantes dans les habiletés motrices fines chez les enfants nés

prématurés sans trouble neurologique que chez des enfants nés à terme, tous âgés de 3 à 7 ans. Ces différences dans les résultats pourraient être expliquées par les critères d'inclusion des enfants nés prématurés : l'étude présentée dans ce travail de thèse excluait les enfants présentant un score global au M-ABC2 inférieur au 16^{ème} pc, ce qui n'était pas le cas pour les études citées précédemment. Ainsi, à l'âge de 8 ans, les habiletés de dextérité manuelle des enfants nés grands prématurés n'ayant pas de difficulté motrice globale ne sont pas différentes de celles des enfants nés à terme du même âge.

Les analyses des résultats des deux groupes d'enfants, sans distinction du groupe d'appartenance, ont mis en évidence un lien significatif entre l'indice *d'* moyen pour l'ensemble des conditions et le score de dextérité bimanuelle. Ce résultat contraste avec celui observé chez les adultes, dans l'étude de Dowell et al. (2018). Les auteurs n'avaient pas révélé de lien entre le score standardisé de dextérité manuelle au Moberg Pick-up Test et les performances à une tâche de discrimination perceptive utilisant un matériel similaire à celui qui a été utilisé (moulages de poivrons en plastique). Cette différence de résultat pourrait être liée à un effet de l'âge des participants ou encore aux conditions d'évaluation de la tâche de dextérité manuelle. En effet, dans l'étude menée ici, les tâches de dextérité manuelle du M-ABC2 s'effectuaient en permanence les yeux ouverts et s'appuyaient donc tout du long sur les modalités visuelle et haptique, tandis que le Moberg Pick-up Test est réalisé pour une partie les yeux ouverts et pour une autre partie les yeux fermés.

5.6. Effet du sexe et de la condition socio-économique sur les performances intramodales et intermodales

Un lien avait été mis en évidence dans la littérature entre les compétences de dextérité manuelle et le sexe, les filles étant plus performantes que les garçons (Junaid & Fellowes, 2006). Une observation similaire a été faite dans la tâche de discrimination perceptive chez les enfants de 8 ans : les filles avaient globalement une meilleure performance que les garçons, et ceci quelle que soit la condition. Ce résultat a donc mis en exergue l'importance de prendre en compte le genre des participants dans les études s'intéressant aux habiletés perceptives dans les modalités visuelle et haptique. Par ailleurs, un lien entre l'environnement socio-économique et les performances à la tâche de discrimination avait aussi été étudié. Cependant, aucun effet significatif du statut socioéconomique des parents n'a été observé sur la performance. Ce résultat interroge la pertinence et la sensibilité de cet indice qui ne se basait

ni sur le revenu familial, ni le niveau scolaire des parents (Linsell, Malouf, Morris, Kurinczuk, & Marlow, 2017), mais uniquement sur leurs catégories socioprofessionnelles.

5.4. Perception haptique et visuelle et des équivalences intermodalitaires chez l'enfant de 8 ans

Même si les résultats n'ont pas mis en évidence de différence en termes de performance entre les enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental et les enfants nés à terme, les données apportent de nouvelles connaissances sur le développement des habiletés de perception haptique et visuelle, ainsi que sur le développement de la perception des équivalences intermodalitaires dans le sens de la modalité haptique vers la modalité visuelle, mais aussi de la modalité visuelle vers la modalité haptique. Pour les enfants âgés de 8 ans, les meilleures performances de discrimination (basées sur l'indice d') étaient observées dans la condition intramodale visuelle qui était significativement différente des autres conditions. De meilleures performances en perception visuelle qu'en perception haptique avaient déjà été relevées chez les enfants âgés de 3 à 7 ans (Milner & Bryant, 1970; Rose et al., 1972; Rudel & Teuber, 1964; Stoltz-Loike & Bornstein, 1987). Dans les résultats obtenus ici, les réponses dans la condition intramodale haptique n'étaient pas différentes de réponses données au hasard (Chapitre VII – partie 4.1). Ces observations soulignent donc la difficulté de la condition intramodale haptique pour les enfants âgés de 8 ans et montrent qu'ils ont encore un profil de performances différent des adultes pour lesquels les performances dans la condition intramodale visuelle étaient comparables à celles de la condition intramodale haptique (Norman et al., 2004).

Comme chez les adultes (Norman et al., 2004), les performances des deux conditions intermodales étaient comparables à la condition intramodale haptique. Les réponses non différentes de réponses données au hasard ont souligné que les deux conditions intermodales étaient difficiles pour les enfants âgés de 8 ans (Chapitre VII – partie 4.1). Les résultats des conditions intermodales des enfants âgés de 8 ans ont aussi révélé que, comme chez les adultes (Norman et al., 2004) et les enfants âgés de 3 à 7 ans des études de Milner et Bryant (1970), Rose et al. (1972) et Rudel et Teuber (1964), les performances dans les deux conditions intermodales étaient comparables, mettant alors en avant la réversibilité du transfert des informations intermodalitaires. Par ailleurs, les résultats concernant l'indice c ont montré que les stratégies de réponse étaient comparables entre les enfants et les adultes (Norman et al., 2008) : tous répondaient plus souvent que les objets étaient différents

dans les conditions intermodalitaires en comparaison des conditions intramodalitaires. Il est cependant important de noter que, chez les enfants, ce résultat peut être principalement expliqué par un indice c plus bas dans la condition intramodale visuelle.

6. Perspectives

L'interprétation selon laquelle la différence dans les temps de réponse entre les enfants nés à terme et les enfants nés prématurés pourrait être associée à des différences de compétences attentionnelles et de mémoire de travail, en défaveur des enfants nés prématurés, pourrait être testée de manière expérimentale en manipulant les délais entre les deux objets à comparer. En effet, les études menées chez les enfants ont montré que ce délai pouvait influencer les performances de discrimination perceptive (Milner & Bryant, 1970; Rose et al., 1972). Une évaluation précise des fonctions exécutives pourrait aussi être incluse dans le protocole expérimental. Un autre indicateur des stratégies utilisées par les enfants pourrait être l'utilisation de patrons d'exploration haptique (Klatzky, Lederman, & Mankinen, 2005; Klatzky & Lederman, 1987). Filmer les mains des enfants lorsqu'ils manipulent les objets pourrait dès lors apporter de nouvelles informations en termes de contrôle de l'action et de stratégies de perception dans la modalité haptique.

L'existence de difficultés de perception multisensorielle dans les troubles neurodéveloppementaux, comme le TDAH et le TAC, est aujourd'hui bien documentée (Hill, Crane, & Bremner, 2012). Par ailleurs, des études menées chez des enfants nés très grands prématurés (moins de 28 SA) âgés de 2 ans (Rahkonen et al., 2015) et des enfants nés grands prématurés (moins de 32 SA) âgés de 1 à 8 ans, n'excluant pas les lésions ni les troubles neurologiques majeures, ont mis en évidence des traitements atypiques des informations sensorielles. D'un point de vue clinique, il pourrait donc être intéressant d'étudier le développement de la perception des équivalences intermodalitaires chez des enfants nés prématurés ayant reçu un diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Un intérêt particulier pourrait être porté aux enfants avec un diagnostic de TDAH au regard du lien mis en avant dans les études en psychologie cognitive entre les compétences attentionnelles et la perception multisensorielle (Talsma, Senkowski, Soto-Faraco, & Woldorff, 2010), mais aussi aux enfants avec un TAC, trouble pour lequel des difficultés de perception multisensorielle sont aussi recensées (Hill et al., 2012).

Encadré 7 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche de discrimination perceptive

Dans une tâche de discrimination de la forme d'objets, de moins bonnes performances intermodales, de la modalité haptique vers la modalité visuelle, ont été observées chez des nourrissons nés prématurés en comparaison de nourrissons nés à terme. Cette différence n'était plus retrouvée à l'âge de 11 ans pour la même condition intermodale. Ces deux seules études ne permettaient cependant pas d'avoir une vision globale du profil de performance des nourrissons et enfants nés prématurés car certaines conditions n'avaient pas été testées. Pour étudier ce profil de performance, une tâche de discrimination perceptive dans les modalités haptique et visuelle a été proposée à des enfants nés grands prématurés et des enfants nés à terme, sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental et tous âgés de 8 ans. Chaque enfant effectuait cette tâche dans une seule condition intramodale (haptique ou visuelle) ou intermodale (toucher vers vision ou vision vers toucher). La question portait ainsi sur la comparaison des performances des deux groupes d'enfants dans une tâche de discrimination de la forme d'objets non familiers et écologiques tout en s'appuyant sur une mesure plus fine que celles proposées classiquement dans les études chez les enfants. Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence entre les deux groupes d'enfants quelle que soit la condition, à la fois pour les performances comme pour les stratégies de réponse. Un seul indicateur était significativement différent entre les deux groupes : le temps de réponse pour les fausses alarmes était plus long chez les enfants nés à terme que chez les enfants nés prématurés. Le temps de réponse n'ayant pas de lien significatif avec la performance à la tâche, ce résultat pourrait traduire de moins bonnes ressources en mémoire de travail chez les enfants nés prématurés pour manipuler les informations visuelle et haptique. En conclusion, les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans ont des habiletés de perception des équivalences intermodalitaires entre les modalités haptique et visuelle comparables à celles des enfants nés à terme du même âge, ainsi que de perception des informations visuelle et haptique. Cette conclusion permet d'avancer que les résultats observés chez les nourrissons nés prématurés pourraient être dus à un délai de maturation des habiletés de perception des équivalences intermodalitaires qui serait rattrapé à 8 ans.

***Coordination visuomanuelle dans une tâche de
poursuite***

Chapitre VIII. Coordination visuomanuelle dans une tâche de poursuite

Comme cela a été précédemment détaillé dans le Chapitre V du cadre théorique général, la naissance prématurée a des conséquences à court mais aussi à long terme sur le développement moteur. Les études précédemment citées ont ainsi montré des différences dans les habiletés perceptivo-motrices chez des enfants nés prématurés sans trouble neurologique en comparaison des enfants nés à terme. Ce constat a motivé l'étude des habiletés de coordination visuomotrice dans une tâche de poursuite chez des enfants nés prématurés et des enfants nés à terme, âgés de 8 ans et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Dans une première partie, des études concernant le développement des habiletés de coordination visuomotrice chez les enfants nés à terme seront décrites, suivies de celles portant spécifiquement sur les enfants nés prématurés. Une deuxième partie sera consacrée à l'exposition de l'objectif et des hypothèses. Enfin, une troisième et une quatrième partie porteront sur la présentation puis la discussion des résultats.

1. Introduction

1.1. Développement des habiletés de coordination visuomotrice

Les habiletés de coordination visuomotrice sont présentes précocement au cours du développement. Ainsi, les nourrissons réussissent à attraper des objets se déplaçant à une vitesse de 30 cm/s dès l'âge de 18 semaines (Bremner, 2000; Jouen & Molina, 2007; von Hofsten, 1980). Dans la suite du développement, des études ont mis en évidence une évolution des stratégies de contrôle du mouvement. Par exemple, Bard et Hay (1983) ont proposé des tâches de pointage à des enfants de 4 à 11 ans. En utilisant un prisme visuel pour déformer les informations visuelles disponibles, les auteurs ont mis en évidence que les enfants les plus jeunes (4-5 ans) s'appuyaient peu sur les informations visuelles en cours d'exécution, agissaient principalement sur un mode balistique et commettaient des erreurs de pointage importantes, contrairement aux enfants de 7 à 11 ans. Chez les enfants de 7 ans, ces informations étaient utilisées très tôt dans le mouvement avec peu d'erreur mais des mouvements lents, tandis que les enfants de 9 à 11 ans s'appuyaient sur les informations visuelles surtout à la fin du mouvement. Ainsi, à l'âge de 7-8 ans, les informations visuelles

jouent un rôle clé dans le contrôle du mouvement et le pilotage de l'action est basé, selon les auteurs, sur l'utilisation de feedbacks visuels au cours de l'exécution ce qui a tendance à ralentir le mouvement (Hay, 1979).

L'existence d'un âge de transition à 8 ans dans l'utilisation des informations sensorielles dans une tâche de pointage visuomanuelle a été aussi mise en évidence dans l'étude de Chicoine, Lassonde, et Proteau (1992) qui a montré que les habiletés de coordination visuomotrice étaient liées à la perception des informations visuelle et proprioceptive. Il est également apparu que ces dernières étaient intégrées ensemble dans le contrôle du mouvement à partir de 8 ans. Cette observation a été confirmée par Lambert et Bard (2005) proposant une tâche de pointage à des enfants âgés de 6, 8, 10 ans et des adultes.

D'autres types de tâches ont aussi révélé une évolution des habiletés de coordination visuomanuelle au cours du développement telles que les tâches d'anticipation-coïncidence (Benguigui et Ripoll, 1998) et les tâches de poursuite (Van Roon, Caeyenberghs, Swinnen, et Smits-Engelsman, 2008). Dans la tâche d'anticipation-coïncidence utilisée par Benguigui et Ripoll (1998) les participants devaient prédire l'arrivée d'un objet en mouvement sur une cible. Les résultats ont montré une amélioration de la précision de l'estimation temporelle de cette arrivée entre 7 et 10 ans, ainsi qu'une diminution de la variabilité des réponses pour les mêmes âges. Ces résultats ont été interprétés comme reflétant une augmentation de l'efficacité des couplages perception-action au cours du développement, ainsi qu'une meilleure prise en compte du délai visuomoteur, qui correspond à la période de temps entre la perception de l'information visuelle et la réalisation d'un ajustement du mouvement en fonction de cette information.

Utilisant une tâche de poursuite d'une cible effectuant un mouvement circulaire et dont l'accélération variait de manière continue en fonction du degré de réussite du participant, Van Roon, Caeyenberghs, Swinnen, et Smits-Engelsman (2008) ont étudié 5 groupes d'âge (6-7, 8-9, 10-11, 12-14, 15-17) dans lesquels tous les participants avaient des niveaux d'habiletés perceptivo-motrices dans la norme (score total égal ou supérieur au 15^{ème} percentile au M-ABC). Les résultats ont montré que tous les enfants étaient capables de poursuivre la cible, mais uniquement sur les vitesses les moins élevées pour les plus jeunes (6 à 9 ans). Parmi les interprétations possibles, les auteurs ont proposé une amélioration du contrôle de type feedforward avec l'âge. Ce contrôle se base sur des représentations mentales qui orientent, calibrent et planifient l'action (e.g. Desmurget & Grafton, 2000). Ainsi, les auteurs soutiennent que les enfants les plus jeunes utilisent peu ce type de contrôle et qu'ils s'appuient principalement sur les feedbacks sensoriels pour réguler leur mouvement et réduire la distance

entre l'effecteur et la cible. Cependant, l'utilisation de cette stratégie ne suffit pas pour poursuivre des cibles ayant des vitesses élevées. En se basant sur une approximation du délai visuomoteur (environ 200 ms), les auteurs en ont déduit que la mobilisation des feedbacks visuels était possible jusqu'à une vitesse de 10.9 cm.s^{-1} , qui correspondait à la vitesse maximale atteinte par le groupe des enfants de 8 à 9 ans.

1.2. Contrôle visuomoteur des nourrissons et enfants nés prématurés

1.2.1. Tests standardisés

Une partie des études sur les habiletés de contrôle visuomoteur des nourrissons nés prématurés se sont appuyées sur des tests standardisés. C'est le cas de l'étude longitudinale de Petkovic, Chokron, et Fagard (2016) menée auprès de nourrissons nés prématurés (34 à 36 SA) et de nourrissons nés à terme, tous âgés de 5 à 12 mois avec une correction prenant en compte la prématurité (Chapitre I.1.). Concernant la coordination visuomanuelle, l'écart entre la norme attendue et les performances des nourrissons nés prématurés a augmenté entre 5 et 12 mois. Ainsi, 16.7% des nourrissons nés prématurés avaient un score en dessous de la moyenne attendue pour l'âge à 12 mois, contre 8.3% à 5 mois. Pour compléter cette évaluation, les auteurs ont proposé des batteries de tests standardisées (Echelle visuo-attentionnelle - EVA et Évaluation des habiletés visuo-attentionnelles du bébé - BABE) mesurant les habiletés visuo-attentionnelles (réflexe photomoteur, cligner des yeux face à un objet qui s'approche, fixation visuelle, poursuite visuelle, intégrité des champs visuels). Pour ces tests, les chercheurs n'ont pas mis en évidence de différence entre les nourrissons nés prématurés et le groupe contrôle de nourrissons nés à terme. Les moins bonnes habiletés de coordination visuomanuelle des nourrissons nés prématurés n'étaient donc pas liées à de moins bonnes habiletés visuo-attentionnelles. Enfin, un questionnaire de motricité globale soumis aux parents n'a pas fait ressortir de différence entre les deux groupes dans ce domaine. Ainsi, les observations concernant les habiletés de coordination visuomanuelle sont spécifiques et pourraient être expliquées par un développement plus lent de ces habiletés chez les nourrissons nés prématurés.

Des tests standardisés peuvent aussi être utilisés pour évaluer les habiletés de coordination visuomotrice des enfants plus âgés nés prématurés. Par exemple, la synthèse des résultats au test du VMI, concernant des enfants nés grands prématurés, avec ou sans antécédent neurologique âgés au moment des mesures de 3 à 16 ans, ont mis en évidence des déficits

dans le domaine de la coordination visuomotrice (Geldof, Van Wassenae, De Kieviet, Kok, & Oosterlaan, 2012). Par ailleurs, une étude de Potharst et al. (2013) menée auprès d'enfants nés prématurés (moins de 30 SA) avec ou sans antécédent neurologique et âgés de 5 ans a, quant à elle, utilisé le subtest de coordination visuomotrice de la batterie « Amsterdam Neuropsychological Tasks » (ANT). Dans ce subtest, deux tâches étaient proposées, une tâche de tracé d'un cercle suivant des lignes prédéfinies, et une tâche de poursuite d'une cible se déplaçant de manière aléatoire. Les résultats ont montré que les enfants nés prématurés étaient moins précis dans la tâche de poursuite que les enfants nés à terme, ce qui se traduisait par une distance moyenne plus importante entre l'effecteur et la cible. Les enfants nés prématurés avaient aussi une poursuite moins stable que les enfants nés à terme, et ceci se reflétait dans un écart-type plus élevé pour les distances entre l'effecteur et la cible. Les caractéristiques de la tâche et les mesures de la cinématique utilisées dans la tâche de poursuite de la batterie ANT, qui auraient fourni des informations importantes pour les hypothèses du travail mené ici, ne sont malheureusement pas décrits par les auteurs. Un pattern de résultats similaire est retrouvé dans la tâche de tracé.

Enfin, les études précédemment détaillées dans le Chapitre V partie 3 du manuscrit, et portant sur des enfants âgés de 3 à 11 ans, ont mis évidence de moins bonnes performances et des performances plus hétérogènes chez les enfants nés prématurés sans trouble neurologique en comparaison d'enfants nés à terme dans le test du VMI, mais aussi dans des tâches de construction et dans les subtests impliquant les habiletés de coordination visuomanuelle du M-ABC (versions 1 et 2) (Caravale, Tozzi, Albino, & Vicari, 2005; De Rose et al., 2013; Liebhardt, Sontheimer, & Linderkamp, 2000; Pietz et al., 2004; Torrioli et al., 2000; Van Braeckel, Butcher, Geuze, Bos, & Bouma, 2008; Van Braeckel et al., 2010).

1.2.2. Mesures cinématiques

D'autres études portant sur les habiletés de contrôle visumoteur des nourrissons nés prématurés se sont spécifiquement intéressées à la cinématique des mouvements lors d'une tâche d'atteinte où un objet doit être saisi manuellement. L'étude longitudinale de Fallang, Saugstad, et Hadders-Algra (2003) a proposé cette tâche à un groupe de nourrissons nés à terme et à deux groupes de nourrissons nés prématurés (24 à 34 SA), à haut risque ou à bas risque en termes d'émergence potentielle de troubles du développement (Chapitre V.1.1), tous âgés de 4 et 6 mois avec une correction prenant en compte la prématurité. Des mesures cliniques s'appuyant sur les échelles de Bayley étaient utilisées en parallèle. En utilisant une

combinaison des variables « pics de vitesse » et « nombre de sous-unités du mouvement » pour créer un indice de la « qualité cinématique du mouvement », les auteurs ont montré que les nourrissons nés prématurés à haut risque présentaient des mouvements moins optimaux que les deux autres groupes car plus lents et avec plus de sous-unités de mouvement.

Une autre étude longitudinale de Toledo et Tudella (2008), utilisant une méthode similaire chez des nourrissons nés prématurés (32 à 36 SA) et des nourrissons nés à terme, tous âgés de 5 à 7 mois avec une correction prenant en compte la prématurité, a mis en évidence des différences entre les deux groupes dans la vitesse du mouvement et l'index d'ajustement (rapport entre le temps de décélération et le temps total du mouvement). A l'âge de 6 et 7 mois, les nourrissons nés prématurés étaient moins rapides, et la phase de décélération du mouvement était plus longue. Les auteurs en ont conclu que, même si les deux groupes avaient des stratégies d'ajustement du mouvement efficaces, les nourrissons nés prématurés prenaient plus de temps pour ajuster leurs mouvements en arrivant sur la cible. Une interprétation proposée par les auteurs était que cette stratégie leur permettait d'avoir plus de temps pour utiliser les informations visuelles.

D'autres études ont mené des analyses de la cinématique des mouvements lors de tâches de pointage chez des enfants plus âgés. Schneider et al. (2008) se sont intéressés à deux groupes d'enfants nés prématurés âgés de 7 à 8 ans sans déficit neurologique majeur : un groupe d'enfants nés entre 28 et 35 SA et un groupe d'enfants nés avant 28 SA. Les mesures concernaient la précision du pointage, le temps de réaction, le temps de mouvement, et l'évolution de la vitesse du mouvement. Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence entre les enfants nés prématurés entre 28 et 35 SA et des enfants nés à terme au niveau des caractéristiques cinématiques des mouvements de pointage. En revanche, il est apparu que les enfants nés avant 28 SA avaient un temps de réaction plus long que les enfants nés à terme dans certaines conditions (unimanuelle côté dominant et bimanuelle avec la cible opposée au point de départ). Par ailleurs, l'étude de Foreman, Fielder, Minshell, Hurion, et Sergienko (1997) a montré que des enfants nés prématurés (27 à 32 SA) âgés de 7 mois à 4 ans, sans trouble ni lésion neurologique majeur et sans déficit moteur, perceptif ou comportemental, avaient une précision de pointage comparable à celle du groupe contrôle d'enfants nés à terme. Cependant, les enfants nés prématurés mettaient plus de temps à pointer la cible dans la condition la plus facile de la tâche, ce qui suggère des stratégies différentes de régulation du mouvement.

Enfin, deux études de Van Braeckel et al. (2008) et Van Braeckel et al. (2010), déjà citées précédemment dans le cadre théorique (Chapitre V.3), ont proposé une tâche de pointage à

des enfants nés à terme ou nés prématurés (25 à 33 SA), sans trouble neurologique, âgés de 7, 8, 9, 10 ou 11 ans. Comme il a été décrit précédemment, dans cette tâche de pointage, les temps de réaction et de mouvement étaient mesurés, ainsi que les pics d'accélération, de décélération et l'amplitude des erreurs de pointage. En parallèle étaient proposés une tâche contrôle de perception visuelle et des tests cliniques standardisés (M-ABC, WISC-III pour le QI, CBCL pour l'attention). Les résultats de Van Braeckel et al. (2008) ont montré des temps plus longs dans différentes mesures, et les amplitudes d'erreurs plus importantes, tous observés à différents âges chez les enfants nés prématurés. Ces résultats ont été interprétés par les auteurs comme étant la manifestation de processus visuomoteurs moins efficaces, et ceci même en absence de lésion cérébrale périnatale majeure.

Par ailleurs, l'étude longitudinale de Van Braeckel et al. (2010) a mis en évidence que les trajectoires développementales du contrôle visuomoteur étaient différentes chez les enfants nés prématurés par rapport aux enfants nés à terme. Plus précisément, les auteurs ont observé chez les enfants nés à terme un âge de transition à 8 ans, se traduisant par un allongement du temps de décélération du mouvement (Chapitre VI - partie 4.1.1). D'après les auteurs, le temps de décélération est sensible aux processus de type feedback et cette transition à 8 ans traduirait des changements dans ces processus fortement utilisés pour contrôler le mouvement à cet âge (van Roon et al., 2008). Concernant le groupe des enfants nés prématurés, aucune transition n'est observée. Ce dernier résultat pourrait être interprété comme une difficulté des enfants nés prématurés à réguler leur mouvement sur la base des informations visuelles. De plus, la diminution du temps d'accélération retrouvée dès 7 ans dans le groupe des enfants nés prématurés a été interprétée par les auteurs comme une prédominance des processus dits feedforward dans le contrôle du mouvement. Cette utilisation plus prédominante des processus feedforward pourrait être une stratégie de compensation des difficultés à s'appuyer sur les mécanismes de régulation perceptivo-moteurs.

Encadré 8 - Informations clés pour la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée

Les tests standardisés et les analyses cinématiques des mouvements de pointage ont mis en évidence de moins bonnes habiletés de coordination visuomotrice chez les nourrissons et les enfants nés prématurés en comparaison de nourrissons et d'enfants nés à terme. Chez les enfants, cette différence est observée quels que soient les critères d'inclusion. Ces résultats ont notamment été interprétés en termes de processus visumoteurs moins efficaces dans la population des individus nés prématurés. Enfin, des différences avec des enfants nés à terme sont aussi observées dans les trajectoires de développement des processus visumoteurs. Ces trajectoires sont notamment caractérisées chez les enfants nés prématurés par l'absence d'un âge de transition dans les stratégies d'utilisation des informations sensorielles. Ces résultats pourraient être interprétés comme une difficulté des enfants nés prématurés à réguler leur mouvement en cours d'exécution.

2. Objectif et Hypothèses

L'hypothèse générale qui a été avancée dans ce travail de thèse était que, dans le cas d'une naissance prématurée, la mise en place des couplages perception-action s'élaborent en s'appuyant sur des expériences sensorielles, multisensorielles et sensorimotrices atypiques en quantité, en qualité et en caractéristiques spatio-temporelles, induisant un développement différent des habiletés perceptivo-motrices chez des individus nés prématurés, même sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. La tâche de poursuite visuomanuelle, détaillée par la suite, avait donc pour objectif d'étudier l'efficacité des coordinations visuomotrices dans la population des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Elle a aussi été élaborée afin d'étudier les caractéristiques temporelles précises de ces coordinations dans différents contextes où la cible du mouvement avait des trajectoires plus ou moins prévisibles.

En cohérence avec les résultats de Van Braeckel et al. (2008) et Van Braeckel et al. (2010), il était attendu que les enfants nés prématurés présentent de moins bonnes habiletés de poursuite visuomanuelle que les enfants nés à terme, et ceci même dans le cas de performances dans la norme aux tests standardisés. Il était également attendu que les difficultés des enfants nés prématurés s'accompagnent d'une plus grande variabilité dans la

performance de poursuite (Chapitre V partie 4.1.3.; Potharst et al., 2013; Van Braeckel et al., 2008; Van Braeckel et al., 2010).

La tâche de poursuite était constituée de phases prévisibles (déplacement rectiligne), de phases très imprévisibles (déviation inattendue de la cible) et de phases intermédiaires en termes de prévisibilité (rebond de la cible sur les parois). D'après les études citées précédemment (e.g. Van Braeckel et al., 2008 ; Van Braeckel et al., 2010), il était possible d'avancer qu'à l'âge de 8 ans les enfants nés prématurés aient des couplages perception-action moins efficaces pour contrôler leur mouvement. Ainsi, il était attendu que les enfants nés prématurés aient une poursuite moins précise que les enfants nés à terme lorsque le contrôle du mouvement devait s'appuyer fortement sur les couplages perception-action, particulièrement lorsque la trajectoire de la cible était peu ou pas prévisible. Ce manque de précision pourrait être associé à des délais de correction plus longs du mouvement, ainsi qu'à des corrections plus nombreuses (van Roon et al., 2008).

Un autre objectif était de contrôler les effets du sexe, de la pratique sportive et des jeux vidéo sur les coordinations visuomanuelles engagées dans la poursuite. En effet, il a été montré que le sexe avait un impact sur le développement des habiletés de contrôle visuomoteur chez les enfants, et ceci en faveur des garçons (Flatters et al., 2014; Junaid & Fellowes, 2006). Par ailleurs, des effets bénéfiques de la pratique sportive (e.g., Benguigui & Ripoll, 1998 ; Wrotniak, Epstein, Dorn, Jones, & Kondilis, 2006) et des jeux vidéo (Green & Bavelier, 2003) ont été observés sur les habiletés de coordination visuomotrice. Par ailleurs, il était intéressant de tester les liens possibles entre la tâche de poursuite et les tests standardisés afin d'étudier les recoupements ou complémentarités qui participeraient à l'intérêt de développer un nouveau test d'évaluation de la coordination visuomotrice basé sur la tâche de poursuite. Enfin, concernant spécifiquement le groupe des enfants nés prématurés, des effets à long terme de certains facteurs périnataux estimés comme des facteurs de risque ou de protection, comme le nombre de soins de peau-à-peau, le nombre d'heures de ventilation, et l'âge gestationnel (Fily, Pierrat, Delporte, Breart, & Truffert, 2006) pourraient être analysés.

3. Méthodologie

3.1. Participants

3.1.1. Caractéristiques générales des groupes

Les caractéristiques de ces deux groupes et leur comparaison sont résumées dans le Tableau 15. Deux groupes d'enfants ont participé à cette étude, un groupe de 22 enfants nés à terme et âgés en moyenne de 8 ans 7 mois et un groupe de 20 enfants nés prématurés et âgés en moyenne de 8 ans 5 mois. Tous remplissaient les critères d'inclusion détaillés dans la méthode générale du protocole, et tous étaient droitiers. Pour les variables continues, l'analyse statistique de ces comparaisons consistait en un t de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : groupe). Lorsque les variances n'étaient pas homogènes (test de Levene), un test t de Welch a été appliqué à la place du test t de Student. Pour les variables catégorielles, un test de Khi^2 de Pearson était appliqué. Les résultats de ces analyses ont montré que les groupes étaient significativement différents pour les facteurs périnataux, soit l'âge gestationnel, le poids à la naissance et la taille à la naissance. Par ailleurs, les enfants des deux groupes avaient des âges comparables lors de leur participation. Enfin, aucune différence significative n'était observée pour le ratio filles / garçons, le statut socioéconomique des responsables légaux, la pratique sportive et la pratique des jeux vidéo.

Tableau 15. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche de poursuite visuomanuelle. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,40) pour les tests *t* et de 1 pour le test du Khi2.

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 22	Nés prématurés (PT) N = 20	<i>t</i> de Student ou <i>t</i> de Welch ^a ou <i>Khi2</i> ^b	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
Âge gestationnel moyen (SA)	39.73 (1.24 / 38-41)	30.84 (1.51 / 28-32)	20.91	< .05	6.460
Poids de naissance (g)	3440 (411.4 / 2850-4100)	1470 (322.9 / 770-1900)	17.14	< .05	5.297
Taille de naissance (cm)	49.70 (2.045 / 46-54)	40.05 (3.17 / 33-44)	11.85	< .05	3.660
Âge à la participation (années et mois)	8 ans 7 mois (3 mois / 8 ans 0 mois-8 ans 11 mois)	8 ans 5 mois (3 mois / 8 ans 1 mois-8 ans 11 mois)	0.951	.347	.294
Sexe (Filles / Garçons)	10/12	7/13	0.475 ^b	.490	/
Statut socioéconomique des responsables légaux (scores)	2.909 (1.377 / 1-6)	2.250 (1.020 / 1-6)	1.748	.088	.540
Pratique sports (score)	5.56 (4.81 / 0-12)	4.21 (3.82 / 0-14)	1.003	.323	.309
Jeux vidéo (score)	2.318 (1.09 / 0-4)	2.4 (0.50 / 2-3)	-0.318 ^a	.753	-.097

3.1.2. Caractéristiques périnatales du groupe des enfants nés prématuré

Tous les enfants nés prématurés avaient un bilan neurologique normal à la naissance. A la sortie du service, 19 enfants sur les 20 présentaient une échographie transfontanellaire (ETF) normale dans les jours suivant la naissance et 1 présentait des hémorragies intracrâniennes de grade I. Le score Apgar mesuré à 5, 7 ou 10 minutes après la naissance s'étendait de 2 à 10, avec une moyenne de 8.15 et un écart-type de 3.08. Enfin, le nombre d'heures de ventilation assistée (invasive ou non) variaient de 0 à 1392 heures (58 jours), avec une moyenne de 297 heures et un écart-type de 360 heures, et 4 enfants ont reçu un traitement par oxygène. En moyenne, les nouveau-nés prématurés ont passé 34 jours dans le service de Néonatalogie du CHU de Caen. Cependant ce chiffre varie beaucoup d'un enfant à l'autre, soit une étendue de

10 jours à 65 jours et un écart-type de 16 jours. 7 enfants sur les 20 ont été mutés dans un hôpital plus proche de leur domicile avant la fin des soins.

3.1.4. Résultats aux tests et questionnaire standardisés

Pour l'ensemble des analyses de comparaison des deux groupes concernant les résultats aux tests et questionnaire standardisés, un test t de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : Groupe), ou un test t de Welch lorsque les variances n'étaient pas homogènes, a été appliqué. Différents scores à tests et questionnaire standardisés ont été relevés les scores en lien avec la tâche proposée (ex. M-ABC2 Total, M-ABC2 Viser/Attraper). Pour rappel, aucun enfant ne présentait de difficulté oculomotrice ou visuospatiale (Test Flèches NEPSY-2) et leur vision était normale ou corrigée à la normale. Parmi les résultats au questionnaire, les scores d'Inattention, décrits dans la partie 2.6.3.2. du Chapitre V, ont été relevés car la tâche de poursuite nécessitait une concentration soutenue. Les résultats des tests standardisés évaluant les habiletés visuomotrices ont aussi été notés.

Les analyses n'ont pas montré de différence statistique pour les habiletés visuomotrices générales (M-ABC2 Viser / Attraper). Cependant, une différence significative est observée dans la tâche impliquant des lancers sur une cible (M-ABC2 Lancer), $t(1,40) = 2.040$, $p < .05$, $d_{Cohen} = .630$ (Tableau 16), qui se traduit par des scores standards plus élevés chez les enfants nés à terme ($M = 12.77$; $ET = 2.544$) en comparaison des enfants nés prématurés ($M = 10.85$; $ET = 3.528$).

Tableau 16. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses l'écart-type (ET) et l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,40).

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 22	Nés prématurés (PT) N = 20	<i>t</i> de Student ou <i>t</i> Welch ^a	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
M-ABC2 Total (pc)	57.77 (22.18 / 16-98)	49.00 (26.50 / 16-95)	1.167	.250	.361
M-ABC2 Viser / Attraper (pc)	69.00 (25.52 / 25-99)	56.15 (26.13 / 16-95)	1.611	.115	.498
M-ABC2 Lancer et attraper (note standard)	10.59 (3.621 / 5-15)	10.00 (2.59 / 7-16)	0.612 ^a	.544	.188
M-ABC2 Lancer (note standard)	12.77 (2.544 / 7-17)	10.85 (3.528 / 7-17)	2.040	< .05	.630
M-ABC2 Trajet (note standard)	10.09 (2.86 / 6-12)	10.45 (2.76 / 5-12)	-0.413	.682	-.128
NEPSY-2 Précision visuomotrice (note étalonnée)	13.73 (2.334 / 11-18)	13.85 (3.100 / 9-18)	-0.144 ^a	.886	-.045
NEPSY-2 Précision visuomotrice vitesse (note étalonnée)	10.64 (1.329 / 8-13)	10.55 (1.432 / 9-12)	0.203	.840	.063
Conners-3 DSM-IV Inattention (score T)	56.00 (8.43 / 41-76)	52.30 (4.83 / 43-60)	1.764 ^a	.087	.538

3.2. Principe général et consignes

La tâche de poursuite visuomanuelle informatisée consistait à suivre une cible sur un écran noir de 17" situé à 47 cm du participant. La résolution de l'affichage étant de 800x600, la fenêtre ne couvrait pas l'ensemble de l'écran mais uniquement une zone de 21.2 cm sur 15.8 cm. L'effecteur était représenté par un cercle rouge de 1.0 cm de diamètre, et la cible en mouvement, par un disque vert de 0.6 cm de diamètre (Figure 38). La cible se déplaçait dans une zone carrée de 13.4 cm de côté délimitée par une bande fixe grise de 0.4 cm de large et rebondissait sur les parois avec un coefficient de restitution de 1 (i.e., la vitesse était conservée). Pour contrôler l'effecteur l'enfant disposait d'un stylet qu'il devait maintenir en contact d'une tablette tactile posée sur une table devant lui. La zone de poursuite était située à 9 cm du participant et était matérialisée sur la tablette tactile par des gommettes marquant les

coins (Figure 39). Le gain entre les mouvements sur la tablette et les mouvements de l'effecteur à l'écran était de 1. La Figure 39 représente une photo d'un enfant installé devant le dispositif.

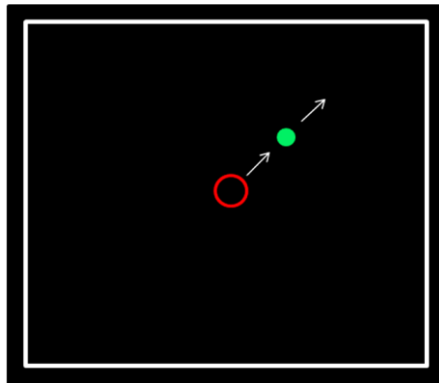


Figure 38. Schéma de la zone de poursuite dans laquelle l'effecteur en rouge (cercle) poursuit la cible (balle) en vert



Figure 39. Photo d'un enfant effectuant la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

3.3. Description du matériel

Le matériel nécessaire dans cette tâche était constitué d'un ordinateur portable HP ZBook 15u G2 qui permettait de gérer le lancement des essais. Les différents essais étaient générés par le logiciel « Poursuite », créé par Richard Kulpa (Université de Rennes 2). Les informations concernant la précision de la poursuite étaient collectées par l'ordinateur portable grâce à une tablette WACOM Intuos 4 modèle PTK 1240, de fréquence d'échantillonnage de 100 Hz, qui était utilisée avec un stylet WACOM à pointe en feutre dure. Le retour visuel de la poursuite était assuré par un écran d'ordinateur Acer AL707 de

dimension (l x H x P) 422 x 449 x 215 mm et de luminosité 250 cd/m², relié lui aussi à l'ordinateur portable.

3.4. Choix des paramètres généraux de la tâche

Cette tâche de poursuite a déjà fait l'objet de travaux de recherche publiés (Mallek, Benguigui, Dicks, & Thouvarecq, 2017), cependant ces derniers ont été réalisés uniquement chez des adultes. Il donc a été nécessaire d'effectuer un travail d'adaptation de la tâche pour les enfants. Ainsi, différentes phases de pré-tests ont été menées d'Avril à Septembre 2016 dans une garderie de la ville de Caen.

Les premiers pré-tests avaient pour objectif de trouver la combinaison la plus adaptée, pour ne pas mettre les enfants en trop grande difficulté, en termes d'affichage et d'espace de poursuite, qui conditionnaient la taille du carré affiché, et de la taille de la zone de poursuite sur la tablette. Cela revenait à rechercher les amplitudes de mouvements ainsi que le gain les plus adaptés. Pour cela, 5 combinaisons d'affichage et de zones de poursuite ont été définies. Au total, 26 enfants typiques âgés de 5 à 10 ans ont testé la tâche de poursuite dans différentes conditions. Les résultats de ces pré-tests ont permis de mettre en évidence la condition la plus favorable permettant d'obtenir des scores moyens de 27% de temps passé au contact de la cible.

Le second pré-test a été mené en Octobre 2016 afin de savoir si la vision du bras pendant la tâche et l'ajout d'un son lors des rebonds sur la paroi de la zone de déplacement pouvait avoir un rôle dans l'exécution de la tâche. Au total 13 enfants de 6 à 10 ans ont participé. Les analyses menées ont mis en évidence aucun effet significatif des différentes conditions testées sur la précision de la poursuite. Ces résultats ont orienté le choix vers une condition unique sans son et avec la vision des bras pour la tâche définitive.

3.5. Procédure

Chaque essai durait 15 secondes pendant lesquelles la cible se déplaçait avec une trajectoire rectiligne à vitesse constante (9.6 cm.s⁻¹) dans la zone de poursuite. Cette vitesse était cohérente avec celle utilisée par Van Roon, Caeyenberghs, Swinnen, et Smits-Engelsman (2008). La cible rebondissait sur les bords de la zone de déplacement et les essais pouvaient contenir 1, 2 ou 3 déviations inattendues (DI), se caractérisant par un changement de trajectoire soudain orthogonalement à l'axe de déplacement. Chaque essai débutait par

l'affichage de la cible immobile en position centrale de la zone de poursuite. L'essai était lancé par l'appui d'une touche de l'ordinateur portable par l'ordinateur. L'expérimentateur indiquait « top » à l'enfant en même temps que le début de l'essai en s'assurant qu'il avait correctement placé l'effecteur sur la cible. Après cet appui, la cible démarrait dans une direction aléatoire sans aucun délai. A la fin de chaque essai, un feedback sous forme de pourcentage était donné et représentait les pourcentages de temps passé au contact de la cible.

Dans la phase de familiarisation, les essais étaient caractérisés par des trajectoires sans déviation inattendue, horizontaux, verticaux, puis dans les deux diagonales. Pour le test, trois essais ont servi de base pour la construction des autres essais pour éviter une habitude aux trajectoires proposées. Ainsi, chaque nouvel essai a été créé par une, deux ou trois rotations de 45 degrés de l'essai modèle. Grâce à cette méthode, les nouveaux essais avaient les mêmes caractéristiques en termes de nombres de déviations inattendues que les essais modèles. La procédure générale de la passation de la tâche était la suivante. Après avoir donné les consignes à l'enfant, une phase de familiarisation de 4 essais était effectuée. Ensuite, 21 essais étaient présentés à la suite de manière aléatoire. Ces derniers étaient découpés informatiquement en 3 blocs de 7 essais, et ils étaient suivis d'une pause de 5-7 min. Et enfin, 3 derniers essais étaient présentés, soit 24 essais au total.

Les consignes données aux enfants étaient les suivantes (les parenthèses indiquent les actions que l'expérimentateur effectuait) : *Dans cette activité il va falloir suivre et attraper le plus longtemps possible la balle verte dans le cercle rouge (Présenter le matériel). Pour que cela marche bien, il faut garder le stylet sur la tablette tactile en face de toi. A toi, essaye. (Laisser faire quelques mouvements). On va commencer avec un petit entraînement. Attention il faut bien suivre la balle pour l'attraper. Tu es prêt(e) ? (Lancer l'entraînement).* Lorsque l'entraînement était fini la suite des consignes était : *On a fini l'entraînement, maintenant la balle peut aller un peu partout dans le carré. Et on va faire ça plusieurs fois. Tu es prêt(e) ? (Lancer les 21 essais, bien encourager l'enfant).*

3.6. Analyses des données

3.6. Variables

Une analyse des différentes variables de la cinématique des mouvements a été effectuée. La méthode de calcul des variables associées à cette analyse était similaire à celle décrite dans l'étude de Mallek et al. (2017) menée auprès d'adultes. Les différentes variables ont été calculées à l'aide de programmes MatLab créées et adaptés par Maroua Mallek (laboratoire CesamS, Université de Caen Normandie). Une première variable dépendante, concernant le début de chaque essai, était le temps de réaction (noté TR), qui correspondait à l'intervalle de temps entre le début du mouvement de la cible et le moment où l'effecteur atteignait une vitesse de déplacement d'une valeur égale à la moyenne plus 1.5 écart-type.

Pour les autres variables dépendantes, chaque essai a été divisé en trois types de période de poursuite, deux périodes autour des perturbations (rebond ou déviation inattendue), et une période de poursuite sans déviation. Pour les déterminer, deux variables intermédiaires ont été calculées, le temps de divergence et le temps de convergence autour des rebonds et des déviations inattendues. Leurs définitions se sont appuyées à leur tour sur le calcul de l'angle entre la direction de la cible et la direction de l'effecteur à chaque instant. Suite aux travaux de Mallek et al. (2017), un seuil de 35° a été défini pour indiquer la divergence (supérieure à 35° après un changement de trajectoire) et la convergence (retour à un angle inférieur à 35°). Le temps de divergence était recherché dans la période entre -500 ms à +500 ms autour de la perturbation. Le temps de convergence, quant à lui, était recherché entre le temps t de la divergence et 500 ms après la perturbation. La période de perturbation (en ms) était délimitée par le temps de divergence et le temps de convergence. La période de poursuite libre (en ms) était donc définie comme la période de temps séparant le temps de convergence et le temps de divergence de la perturbation suivante (rebond ou déviation inattendue). L'ensemble de cette logique est synthétisé dans la Figure 40.

Après la définition de ces périodes, différentes variables dépendantes ont été utilisées pour les 3 zones de poursuite (déviation inattendue, rebond et libre). La distance à la cible (en cm) et la fréquence des réductions de l'écart (nombre moyen d'occurrence de réductions de la distance entre la cible et l'effecteur en 1 seconde) ont été calculées. Enfin, une dernière variable correspondant au délai visuomoteur (noté DVM) a été calculée autour des déviations inattendues. Il correspond au temps nécessaire pour réaliser une première correction du mouvement après une déviation inattendue.

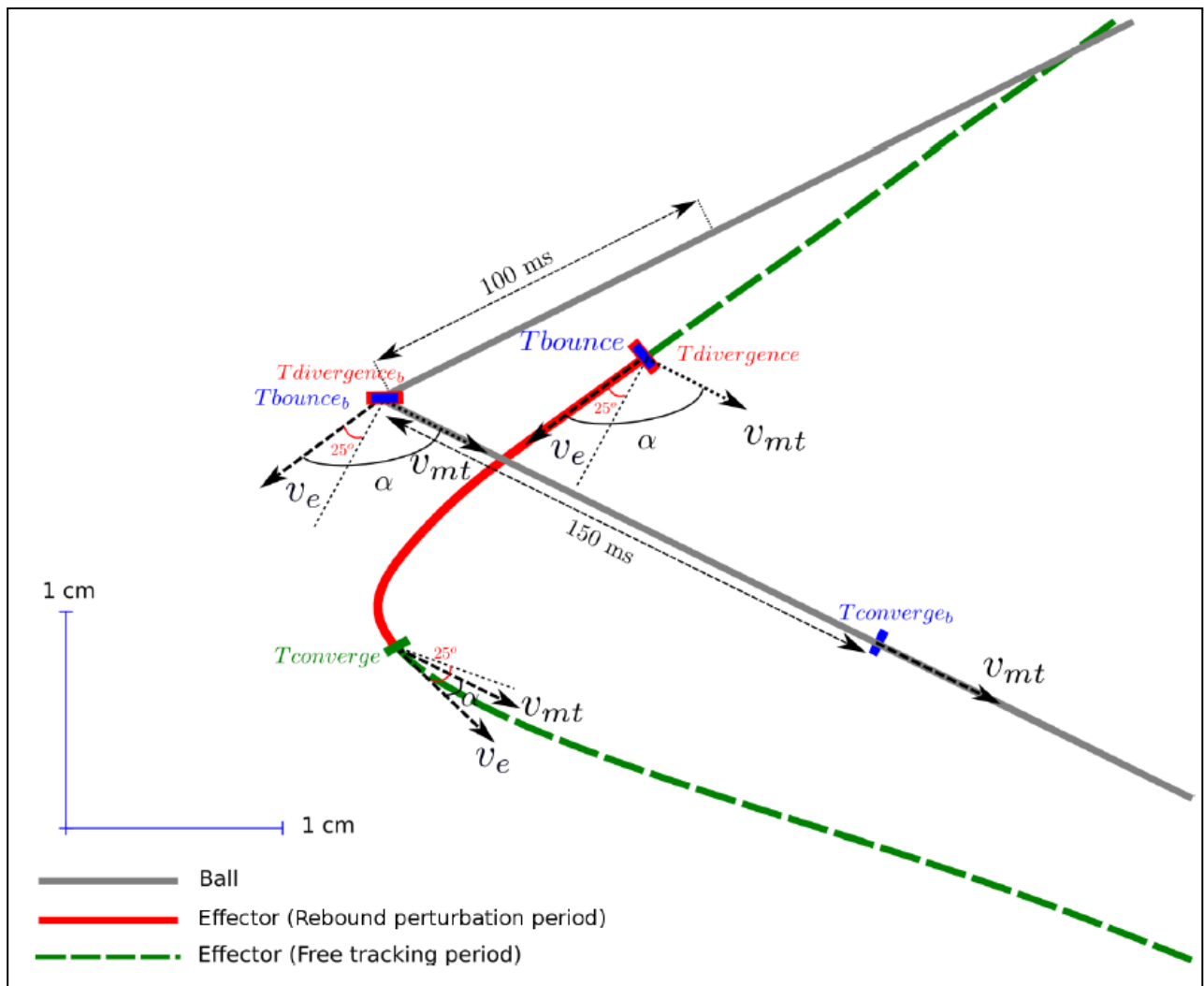


Figure 40. Illustration des différents indices permettant de définir la période autour d'une perturbation et la période de poursuite libre. Le seuil α est ici de 25°. Extrait avec la permission de Mallek et al. (2017). $T_{divergence}$: temps de divergence ; $T_{convergence}$: temps de convergence ; T_{bounce} : temps du rebond ; v_{mt} : vecteur du mouvement de la balle ; v_e : vecteur du mouvement de l'effecteur ; b : balle ; α : angle α .

4. Résultats

4.1. Analyses des mesures de la cinématique du mouvement

Les données concernant les indices cinématiques TR et DVM ont été obtenues en moyennant ces derniers sur l'ensemble des essais de chaque participant. Elles ont donc été analysées au moyen d'un test t de Student, ou un t de Welch lorsque les variances n'étaient pas homogènes (variable indépendante : Groupe). Les données concernant la distance à la cible et la fréquence des réductions de l'écart ont été obtenues en moyennant ces derniers sur l'ensemble des essais d'un participant dans les trois zones de poursuites préalablement décrites (Chapitre VI.4.4.7). Elles ont donc été analysées au moyen d'une ANOVA mixte (variable indépendante à mesures répétée : « Zone de poursuite »; variable indépendante interindividuel : Groupe).

4.1.1. Analyse de la Distance entre cible et effecteur

Pour cette analyse, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité au test de Mauchly. L'ANOVA mixte portant sur la Distance entre la cible et l'effecteur (cm) a révélé un effet significatif de la Zone de poursuite, $F(1.387, 55.487) = 156.226$, $p < .05$, $\eta^2_p = .372$. Une analyse post-hoc de type Bonferroni a révélé des différences significatives entre toutes les zones de poursuite, la distance entre la cible et l'effecteur étant plus significativement plus grande dans la zone « déviation » ($M = 2.82$; $ET = 0.22$) que dans la zone « rebond » ($M = 2.57$; $ET = 0.26$), elle-même plus grande que la distance dans la zone « libre » ($M = 2.11$; $ET = 0.22$) (Figure 41). L'analyse a aussi montré un effet significatif du Groupe, $F(1, 40) = 10.44$, $p < .05$, $\eta^2_p = .207$, la distance entre la cible et l'effecteur étant significativement plus petite chez les enfants nés à terme ($M = 2.42$; $ET = 0.36$) que les enfants nés prématurés ($M = 2.58$; $ET = 0.37$). Aucun effet d'interaction n'a été trouvé entre la Zone de poursuite et le Groupe, $F(1.387, 55.487) = 0.421$, $p = .584$, $\eta^2_p = .002$. Un test de Levene sur la distance à la cible indépendamment de la Zone de poursuite n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes en termes de variance, $F(1, 40) = 0.182$, $p = .672$.

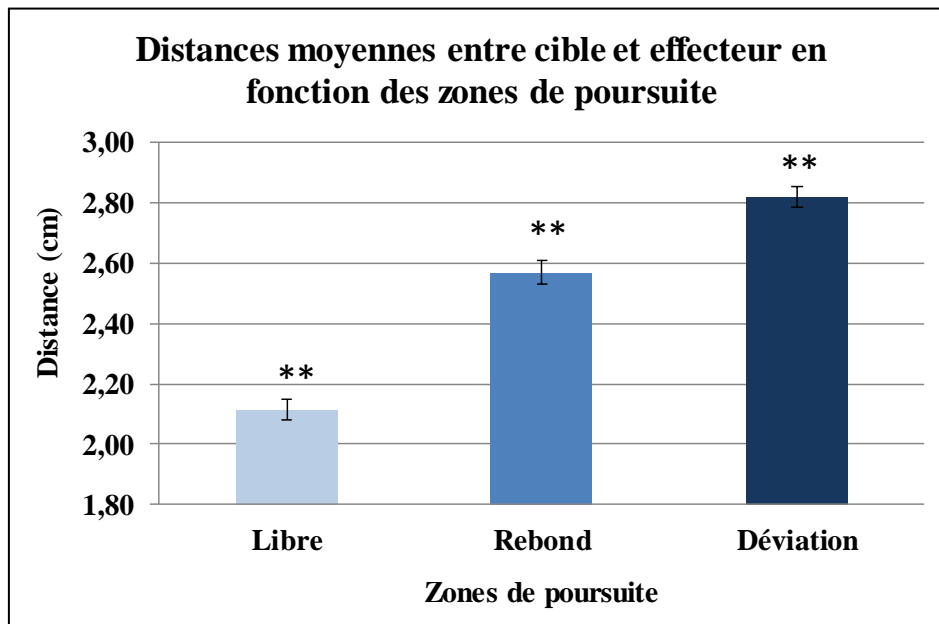


Figure 41. Histogramme des distances moyennes entre cible et effecteur en fonction des zones de poursuite. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent aux conditions significativement différentes des autres.

4.1.2. Analyse des TR

L'analyse (t de Welch) n'a pas montré d'effet significatif du Groupe sur les TR (ms), $t(1,26.55) = -0.139$, $p = .887$, $d_{Cohen} = -0.043$, qui étaient comparable chez les enfants nés à terme ($M = 314$; $ET : 28.23$) et les enfants nés prématurés ($M = 315$; $ET : 56.64$). Cependant, le résultat au test de Levene a mis en évidence que les variances n'étaient pas homogènes entre les groupes, $F(1,40) = 12.63$, $p < .05$, les enfants nés prématurés ayant une variance des TR plus élevée que celle des enfants nés à terme.

4.1.3. Analyse des DVM

L'analyse (t de Student) n'a pas mis en évidence d'effet significatif du Groupe sur les DVM (ms), $t(1,40) = -1.896$, $p = .065$, $d_{Cohen} = -0.586$, qui étaient comparables chez les enfants nés à terme ($M = 332$; $ET : 20.11$) et les enfants nés prématurés ($M = 348$; $ET = 31.56$). Le résultat au test de Levene n'a mis pas en évidence de différence de variances entre les groupes, $F(1,40) = 2.143$, $p = .151$.

4.1.4. Analyse de la Fréquence des réductions de l'écart

Pour cette analyse, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité au test de Mauchly. L'ANOVA mixte portant sur la Fréquence des réductions de l'écart (entre cible et effecteur, en s^{-1}) a révélé un effet significatif de la Zone de poursuite, $F(1.237, 49.494) = 156.89$, $p < .05$, $\eta^2_p = .797$. Une analyse post-hoc de type Bonferroni a mis en évidence des différences significatives entre toutes les zones de poursuite (Figure 42), la fréquence des réductions de l'écart étant significativement plus grande dans la zone « libre » ($M = 6.56$; $ET = 0.58$) que dans la zone « rebond » ($M = 4.43$; $ET = 0.52$), elle-même plus grande que dans la zone « déviation » ($M = 3.49$; $ET = 1.36$).

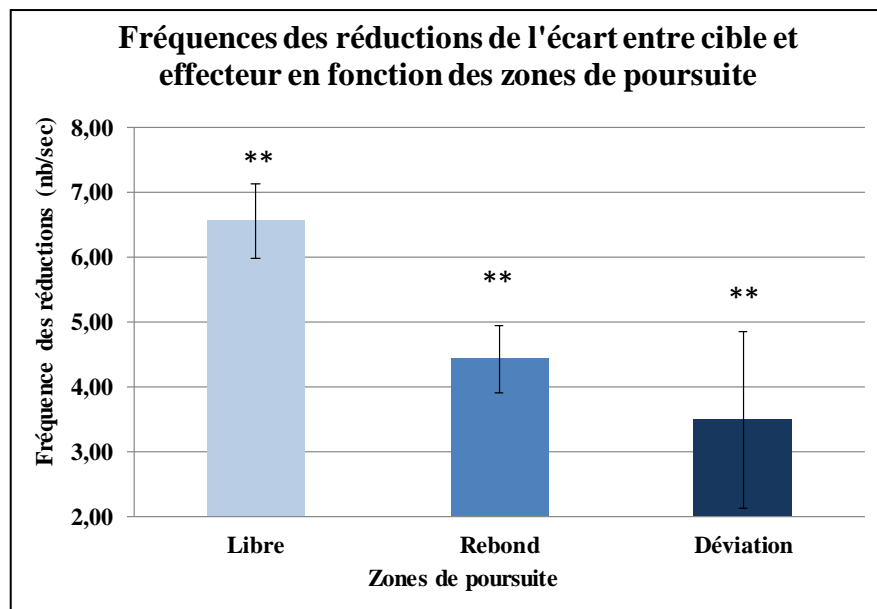


Figure 42. Histogramme des fréquences des réductions de l'écart entre cible et effecteur en fonction des zones de poursuite. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-type. Les deux étoiles correspondent aux conditions significativement différentes des autres.

L'analyse n'a pas révélé d'effet significatif du Groupe sur la Fréquence des réductions de l'écart (s^{-1}), $F(1, 40) = 3.264$, $p = .078$, $\eta^2_p = .078$, les fréquences étant comparables chez les enfants nés à terme ($M = 4.67$; $ET = 0.46$) et les enfants nés prématurés ($M = 4.99$; $ET = 0.67$). Un test de Levene sur les Fréquences des réductions de l'écart indépendamment de la Zone de poursuite n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes en termes de variance, $F(1, 40) = 1.116$, $p = .297$. Cependant, un effet significatif d'interaction a été trouvé entre la Zone de poursuite et le Groupe, $F(1.237, 49.494) = 4.992$,

$p < .05$, $\eta^2_p = .105$. Une analyse post-hoc de type Bonferroni a mis en évidence une différence significative entre les groupes dans la zone de poursuite « déviation » ($p < .05$), la fréquence des réductions étant significativement plus élevée chez les enfants nés prématurés ($M = 3.98$; $ET = 1.58$) que chez les enfants nés à terme ($M = 3.04$; $ET = 0.97$). Aucune différence entre les deux groupes n'a été apparue pour la zone de poursuite « rebond », dans laquelle les fréquences des réductions sont comparables chez les enfants nés à terme ($M = 4.43$; $ET = 0.52$) et les enfants nés prématurés ($M = 4.42$; $ET = 0.53$), ni pour la zone de poursuite « libre », dans laquelle les fréquences des réductions sont aussi comparables chez les enfants nés à terme ($M = 6.55$; $ET = 0.62$) et les enfants nés prématurés ($M = 6.58$; $ET = 0.55$) (Figure 43).

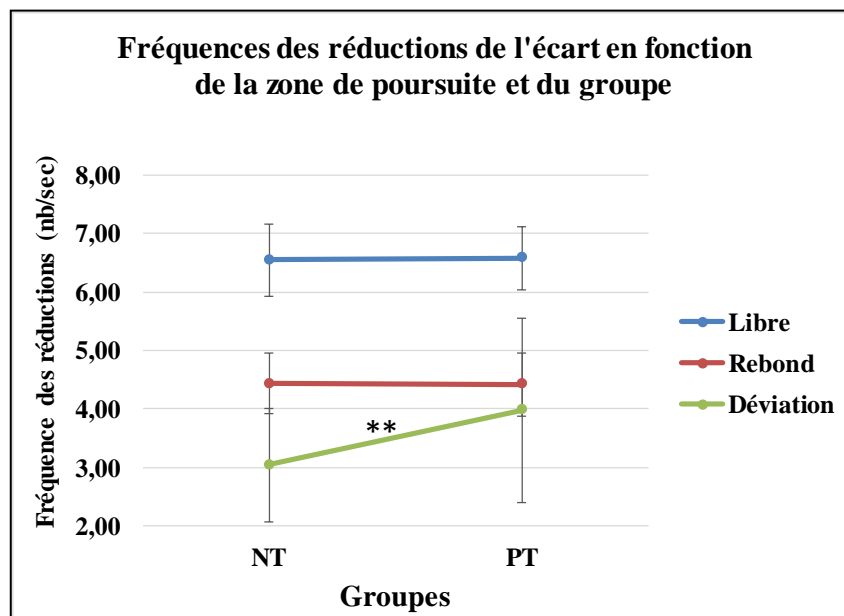


Figure 43. Courbes des Fréquences des réductions de l'écart en fonction des zones de poursuite et du groupe. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-type. Les deux étoiles correspondent aux différences significatives entre les groupes.

L'analyse post-hoc de type Bonferroni a aussi mis en évidence des différences significatives entre toutes les zones de poursuite dans le groupe des enfants nés à terme, les fréquences des réductions étant significativement plus grandes dans la zone « libre » ($M = 6.55$; $ET = 0.62$) que dans la zone « rebond » ($M = 4.43$; $ET = 0.52$), elle-même plus grande que dans la zone « déviation » ($M = 3.04$; $ET = 0.53$). Cependant, dans le groupe des enfants nés prématurés, les fréquences des réductions sont comparables dans la zone « rebond » ($M = 4.42$; $ET = 0.53$) et dans la zone « déviation » ($M = 3.98$; $ET = 1.58$), alors

que les fréquences des réductions sont significativement plus élevées dans la zone « libre » ($M = 6.58$; $ET = 0.55$) que dans les deux autres zones.

4.2. Étude du lien entre la précision de la poursuite et les différentes mesures de la cinématique du mouvement

Une analyse de régression multiple pas-à-pas ascendante a été appliquée pour étudier le lien entre la distance moyenne à la cible (indicateur de la précision de la poursuite) et les autres mesures de la cinématique du mouvement (TR, DVM, Fréquence des réductions), sans prendre en compte la zone de poursuite. Au premier pas de l'analyse, le DVM est apparu comme le meilleur prédicteur de la distance moyenne à la cible et il a expliqué 29.9% de la variance totale. Dans une deuxième étape, la Fréquence des réductions de l'écart est introduite dans l'équation et a ajouté une part explicative de 2.9%. En troisième étape, le TR a été introduit dans l'équation et a ajouté 1.4% de part explicative. Dans l'équation finale (modèle 1), le DVM ($\beta = .428$, $p < .05$), la Fréquence des réductions de l'écart ($\beta = .206$, $p = .134$), et le TR ($\beta = .186$, $p = .181$), expliquaient 34.2% de la variance totale ($R^2_{ajusté}$), $F(3,38) = 8.11$, $p < .05$. La représentation graphique (Figure 44) illustre les résultats portant sur la distance moyenne à la cible, indicateur de la précision dans la tâche de poursuite. On peut noter la présence de deux groupes d'enfants qui expliquent la différence significative trouvée entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme : 6 enfants nés prématurés avec une moins bonne précision de poursuite plus ou moins bien prédites par la modèle (cercle bleu) et 7 enfants nés à terme avec une meilleure précision de poursuite peu prédites par le modèle (cercle orange). Un groupe d'enfants avec une performance intermédiaire est composé à la fois d'enfants nés à terme et d'enfants nés prématurés.

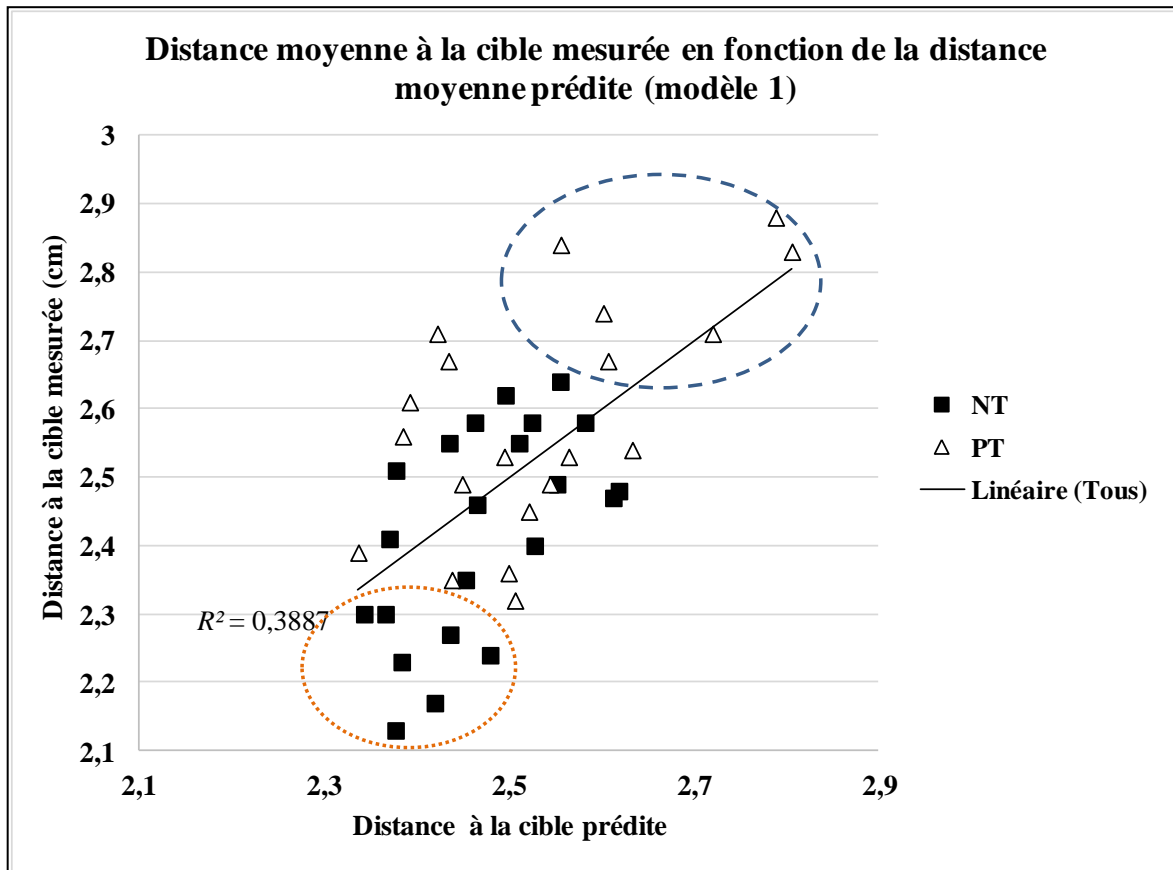


Figure 44. Distribution des valeurs des Distances moyennes à la cible des deux groupes d'enfants en fonction des Distances moyennes à la cible prédite par le modèle 1. La droite représente la droite de tendance linéaire générale. Les deux groupes d'enfants entourés ont des profils se distinguant des autres.

4.3. Étude du lien entre la précision de la poursuite et des variables intra-individuelles

Pour étudier l'implication de certaines variables intra-individuelles pertinentes (sexe, jeux vidéo, sport) dans la précision de la poursuite, une analyse de régression multiple pas-à-pas ascendante a été menée avec la distance moyenne à la cible. Pour intégrer la variable Sexe dans l'analyse, cette dernière a été codée de la manière suivante : 1 pour les Filles, -1 pour les Garçons. Au premier pas de l'analyse, le score de pratique sportive est apparu comme le meilleur prédicteur de la distance moyenne à la cible et il a expliqué 11.3% de la variance totale. Dans une deuxième étape, le score de pratique des jeux vidéo est introduit dans l'équation et a ajouté une part explicative de 5.1%. En troisième étape, le sexe a été introduit dans l'équation et a ajouté 0.30% de part explicative. Dans l'équation finale (modèle 2), le score de pratique sportive ($\beta = -.322$, $p < .05$), le score de pratique des jeux vidéo ($\beta = -.237$,

$p = .110$), et le sexe ($\beta = .161$, $p = .288$), expliquaient 16.8% de la variance totale ($R^2_{ajusté}$), $F(3,38) = 3.752$, $p < .05$.

La représentation graphique (Figure 45) illustre les résultats portant sur la distance moyenne à la cible, indicateur de la précision dans la tâche de poursuite. On retrouve les deux groupes d'enfants observés précédemment dans l'illustration du modèle 1. Les données de ces deux groupes d'enfants restent, de nouveau, assez éloignées des valeurs calculées avec le modèle.

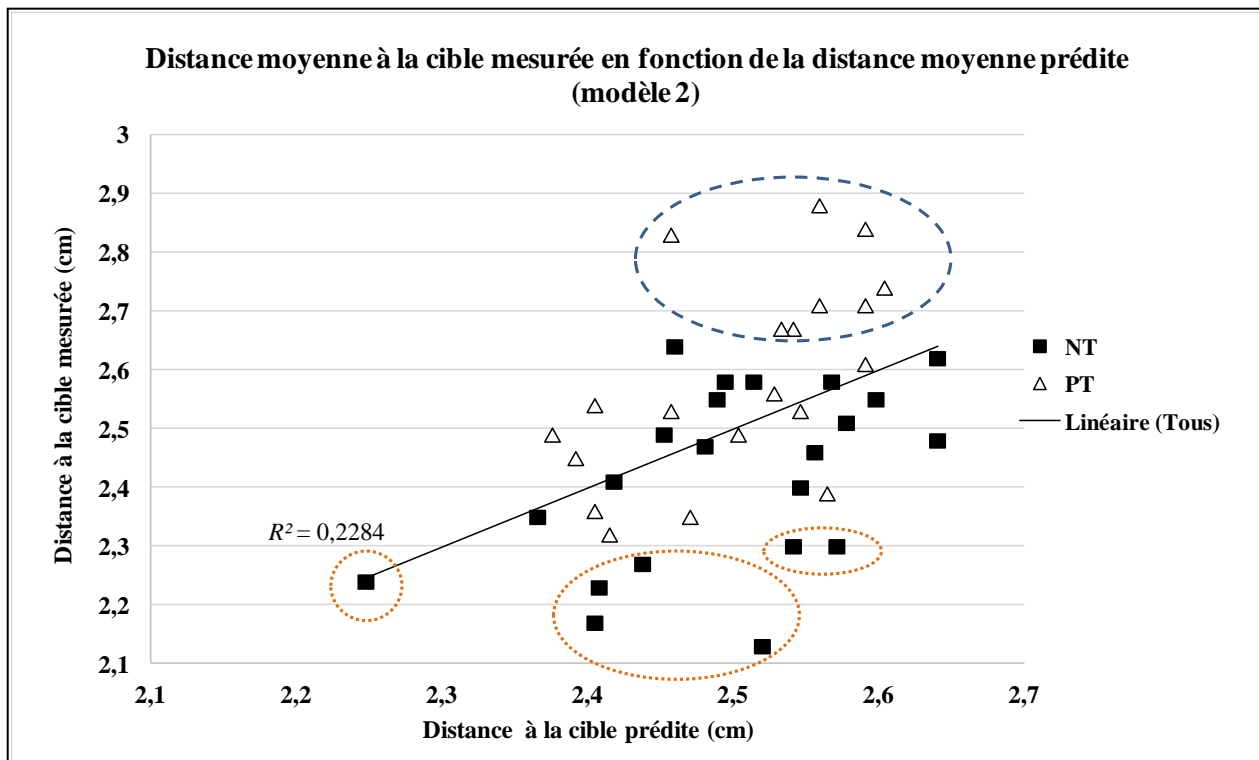


Figure 45. Distribution des valeurs de la Distance moyenne entre l'effecteur et la cible en fonction des Distances moyennes à la cible prédite par le modèle 2. La droite représente la droite de tendance linéaire générale. Sont entourés deux groupes d'enfants qui ont des profils se distinguant des autres.

4.4. Étude du lien entre la précision de la poursuite et les scores aux tests standardisés

Pour étudier les liens entre la précision dans la tâche de poursuite et les scores aux tests standardisés évaluant les habiletés visuomotrices, des analyses de régression linéaire ont été menées. La distance moyenne à la cible a été retenue comme indicateur de la précision de la poursuite et les sous-scores de Viser-Attraper du M-ABC2, ainsi que le score de précision Visuomotrice de la NEPSY-2, ont été utilisés comme prédicteurs. Les résultats (Tableau 17) n'ont pas mis en évidence de lien significatif entre la précision de poursuite et le test de la

NEPSY-2, ni entre la précision de la poursuite et le test Lancer/viser à une main de la M-ABC2. Cependant, ils ont révélé un lien significatif entre la précision de la poursuite et le test Lancer/attraper à deux mains de la M-ABC2 : plus le score au test Lancer/attraper augmente, plus la Distance moyenne à la cible diminue (Figure 46).

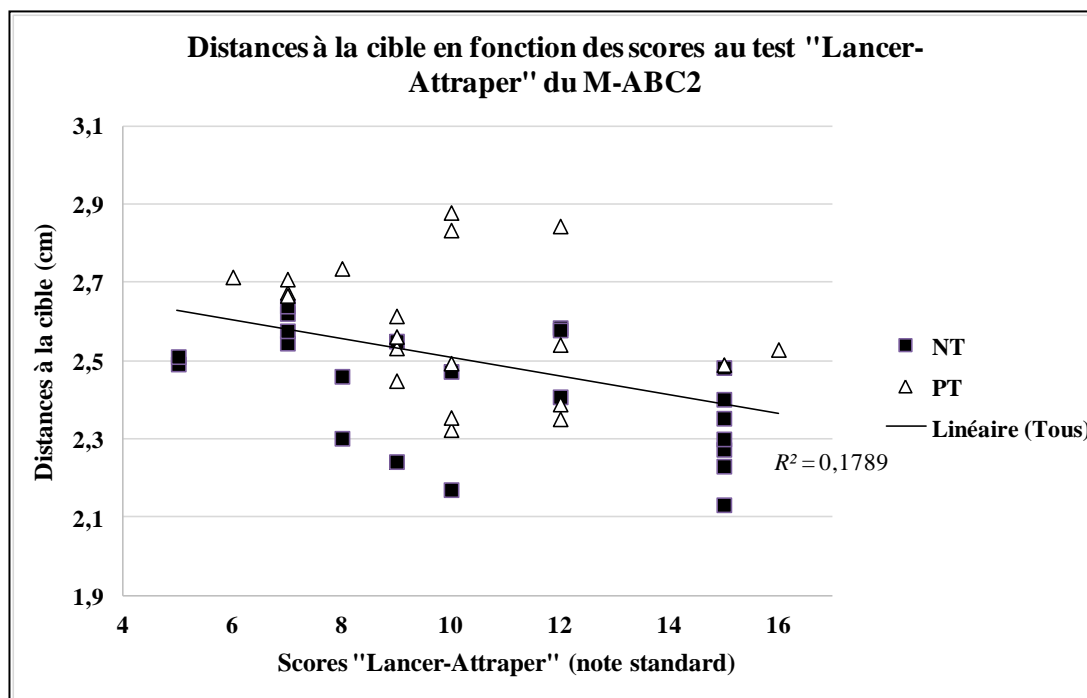


Figure 46. Distribution des valeurs des Distances moyennes à la cible des deux groupes d'enfants en fonction des Scores « Lancer-Attraper ». La droite représente la droite de tendance linéaire générale.

Tableau 17. Résultats des analyses de régression linéaire portant sur les liens entre la distance moyenne à la cible et les différents scores aux tests standardisés évaluant les habiletés visuomotrices. Les ddl sont de (1,40).

Balle - Lancer et attraper (M-ABC-2)	Balle - Lancer seul (M-ABC2)	Stylo – Précision et rapidité (NEPSY-2)
$F = 8.819, p < .05,$ $R^2_{ajusté} = .181$	$F = 3.958, p = .054,$ $R^2_{ajusté} = .067$	$F = 0.437, p = .512,$ $R^2_{ajusté} = -.014$

4.5. Liens entre performances à la tâche de poursuite informatisées et mesures périnatales

Des analyses de régression spécifiques au groupe des enfants nés prématurés ont été effectuées afin d'étudier les liens entre des mesures périnatales et les performances à la tâche de poursuite visuomanuelle. La distance moyenne à la cible a été retenue comme indicateur de la précision de la poursuite. Les résultats, synthétisés dans le Tableau 18, n'ont montré aucun lien significatif entre les différentes variables.

Tableau 18. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et la précision dans la tâche de poursuite visuomanuelle. Pour chaque case les degrés de libertés sont (1,18).

	Distance moyenne à la cible
Sessions peau-à-peau	$F = 1.10, p = .307, R^2_{ajusté} = .005$
Age gestationnel (SA)	$F = 0.59, p = .453, R^2_{ajusté} = -.022$
Heures de ventilation assistée	$F = 0.27, p = .612, R^2_{ajusté} = .015$

4.6. Analyses a posteriori des mesures de la cinématique du mouvement de trois groupes d'enfants

Les résultats concernant la distance moyenne à la cible ayant mis en évidence des regroupements possibles des enfants (Figure 45), des analyses a posteriori du TR, du DVM et de la Fréquence des réductions de l'écart de trois groupes d'enfants ont été menées afin de confirmer la sensibilité de la tâche et de clarifier les différences pouvant exister entre ces groupes. Les groupes ont été établis selon les critères suivants : les enfants du groupe « *performance haute* » (N = 5, tous nés à terme) avaient une distance moyenne à la cible inférieure à 2.3 cm, les enfants du groupe « *performance moyenne* » (N = 29, 17 enfants nés à terme et 12 enfants nés prématurés) avaient une distance moyenne à la cible entre 2.3 et 2.6 cm, les enfants du groupe « *performance faible* » (N = 8, tous nés prématurés) avaient une distance moyenne à la cible supérieure à 2.6 cm.

4.6.1. Analyse des TR des trois groupes

L'ANOVA à un facteur (Groupe, 3 modalités : performance haute vs. performance moyenne vs. performance faible) portant sur les TR (ms) n'a pas mis en évidence d'effet du Groupe, $F(2,39) = 2.007$, $p = .148$, $\eta^2_p = .093$, les TR étant comparable dans le groupe *performance haute* ($M = 295$; $ET = 29.5$), le groupe *performance moyenne* ($M = 311$; $ET = 45.3$) et le groupe *performance faible* ($M = 340$; $ET = 36.7$).

4.6.2. Analyse des DVM des trois groupes

L'ANOVA à un facteur (Groupe, 3 modalités : *performance haute* vs. *performance moyenne* vs. *performance faible*) portant sur les DVM (ms) a montré un effet significatif du Groupe, $F(2,39) = 4.293$, $p < .05$, $\eta^2_p = .180$. Une analyse post-hoc de Bonferroni a mis en évidence que le DVM moyen (ms) du groupe *performance haute* ($M = 320$; $ET = 11.0$) était significativement plus court que le DVM moyen du groupe *performance faible* ($M = 360$; $ET = 34.0$), sans qu'il y est de différence entre ces groupes et le groupe *performance moyenne* ($M = 338$; $ET = 23.8$) (Figure 47).

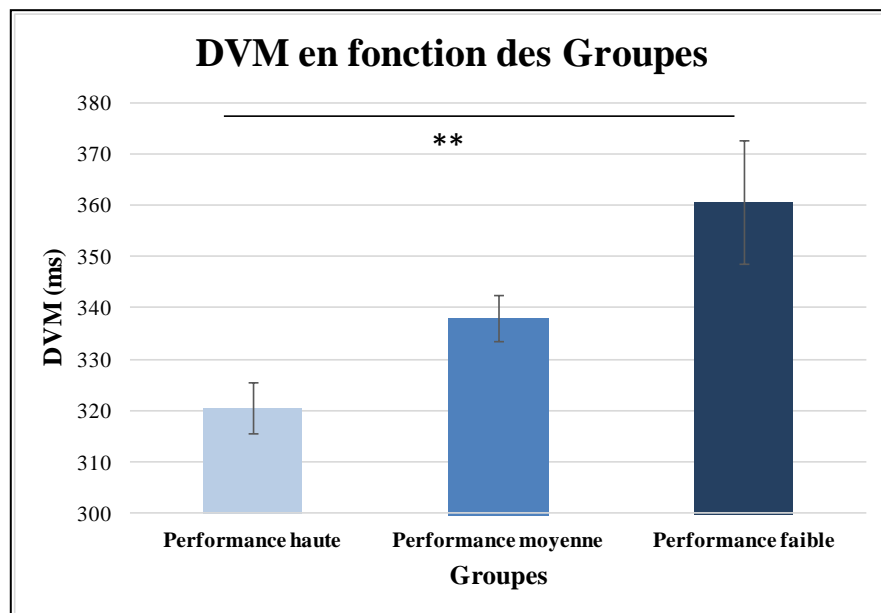


Figure 47. Histogramme des délais visuomoteurs en fonction du groupe d'enfants. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre deux groupes.

4.6.3. Analyse des Fréquences des réductions de l'écart des trois groupes

Pour cette analyse, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité au test de Mauchly. L'ANOVA mixte (variable indépendante répétée : Zone de poursuite, 3 modalités et deuxième variable indépendante : Groupe, 3 modalités) portant sur les Fréquences des réductions de l'écart (entre cible et effecteur) a révélé un effet significatif du Groupe, $F(1.361, 2.723) = 7.283$, $p < .05$, $\eta^2_p = .272$. Une analyse post-hoc de type Bonferroni a mise en évidence que les Fréquences des réductions de l'écart (s^{-1}) étaient significativement plus élevées dans le groupe *performance faible* ($M = 5.45$; $ET = 0.71$) que dans les groupes *performance moyenne* ($M = 4.69$; $ET = 0.47$) et *performance haute* ($M = 4.64$; $ET = 0.35$), mais aucune différence n'a été montrée entre les groupes *performance moyenne* et *performance haute*. L'ANOVA mixte a aussi révélé un effet significatif d'interaction entre la Zone de poursuite et le Groupe, $F(1.361, 2.723) = 12.90$, $p < .05$, $\eta^2_p = .398$. Une analyse post-hoc de Bonferroni a mis en évidence que les différences entre le groupe *performance faible* et les deux autres groupes étaient observées dans la Zone de poursuite « Déviation », alors qu'elles n'étaient pas retrouvées dans les Zones de poursuite « Libre » et « Rebond » (Figure 48).

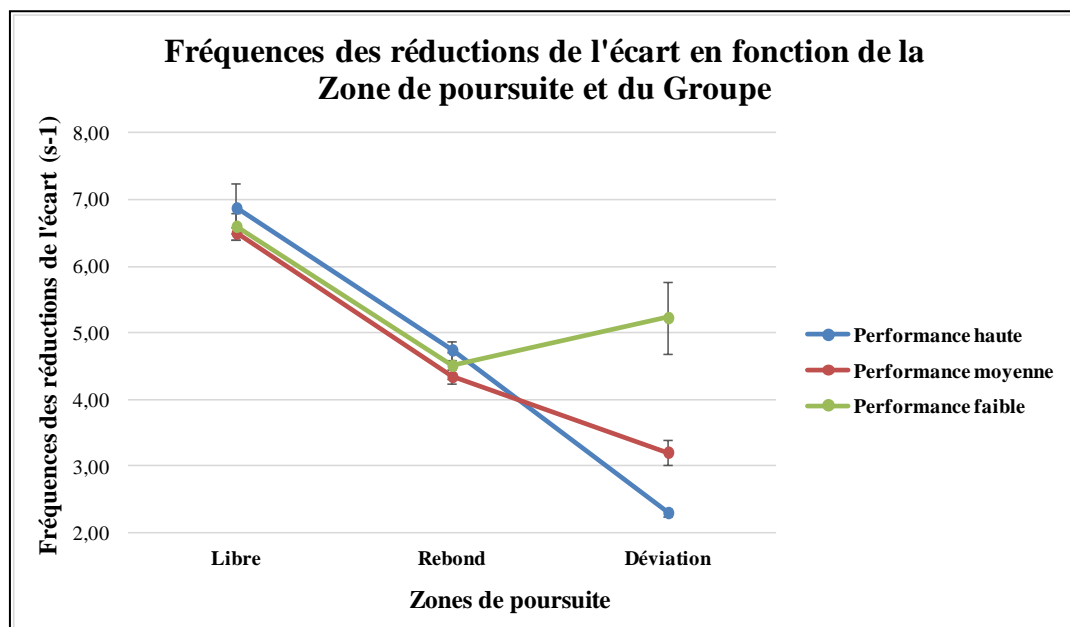


Figure 48. Histogramme des Fréquences des réductions de l'écart entre la cible et l'effecteur en fonction de la Zone de poursuite et du Groupe d'enfants. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre deux groupes.

5. Discussion

L'hypothèse principale avancée était que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental seraient plus en difficulté que les enfants nés à terme lorsque la trajectoire de la cible était peu ou pas du tout prévisible car leurs processus visuomoteurs seraient moins efficaces. La tâche de poursuite visuomanuelle avait donc pour objectif d'étudier l'efficacité des coordinations visuomotrices dans la population des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Elle a aussi été élaborée afin d'étudier les caractéristiques temporelles précises de ces coordinations dans différents contextes où la cible du mouvement avait des trajectoires plus ou moins prévisibles. Les effets de facteurs individuels (sexe, pratique sportive), ou en lien avec la prématurité (facteurs périnataux), ainsi que les liens possibles entre la tâche de poursuite et les tests standardisés, ont aussi été étudiés.

5.1. Des effets de la prématurité

5.1.1. Une poursuite moins précise chez les enfants nés prématurés

La précision de la poursuite était estimée à partir de la distance entre la cible et l'effecteur. Les résultats ont mis en évidence une distance moyenne entre l'effecteur et la cible de 2.5 cm. Dans le test de poursuite de la batterie ANT proposé par Potharst et al. (2013) à des enfants âgés de 5 ans, la distance moyenne était de 1.21 cm. Cependant, les caractéristiques du test de la batterie ANT ne sont pas données dans leur étude et la précision dans les tâches de poursuite est très dépendante des conditions expérimentales. Par conséquent, ces résultats ne sont pas comparables. Utilisant la même tâche avec une vitesse de cible analogue, Mallek et al. (2017) ont montré une précision bien plus importante (0.53 cm en moyenne). La précision des enfants âgés de 8 ans est donc largement moins bonne que celles des adultes. Cette différence démontre la complexité de la tâche et l'implication de processus qui nécessitent un long développement.

Conformément aux hypothèses, les résultats ont montré que plus la trajectoire de la balle était imprévisible, plus la distance entre la cible et l'effecteur augmentait (Figure 42). La déviation inattendue est la situation la plus complexe et nécessite une réorganisation complète

de la poursuite. Les rebonds pouvaient, quant à eux, être anticipés. Les résultats montrent que la précision restait néanmoins largement affectée.

Les résultats ont révélé que le groupe des enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans avaient une poursuite visuomanuelle moins précise que le groupe des enfants nés à terme du même âge. Cette observation rejoint celle effectuée par Potharst et al. (2013) qui avaient montré que des enfants nés prématurés âgés de 5 ans, avec ou sans antécédents neurologiques, étaient moins précis dans le test de poursuite de la batterie ANT que les enfants nés à terme du même âge. Pour expliquer ces différences attendues, plusieurs variables cinématiques ont été mesurées.

5.1.2. Peu de différence entre les enfants pour les mesures cinématiques

Les deux mesures des délais temporels entre la perception des informations visuelles et le début de la poursuite ou l'ajustement du mouvement de poursuite étaient le temps de réaction et le délai visuomoteur. Les valeurs moyennes observées pour l'ensemble des enfants étaient de 314 ms pour le temps de réaction et de 340 ms pour le délai visuomoteur, valeurs qui sont assez proches. Concernant le temps de réaction, les valeurs obtenues sont très proches de celles mesurée, par exemple, par Eckert et Eichorn (1977) chez des enfants du même âge (313 ms). Concernant la mesure du délai visuomoteur de régulation, la seule comparaison peut être faite avec des données issues de l'étude développementale de Van Roon et al. (2008) qui ont calculé des délais moyens de 200 ms. Cependant, ces délais étaient calculés de façon uniforme pour l'ensemble des enfants âgés de 6 à 17 ans testés dans leur expérience. Et il est étonnant de constater que ce délai correspond à celui, par exemple, identifié chez des adultes par Lobjois, Benguigui, et Bertsch (2005) dans une tâche d'interception. Les délais temporels des adultes et des enfants montrent ici des processus qui nécessitent du temps pour se développer. Aucune différence n'a été mise en évidence entre les enfants nés à terme et les enfants nés grands prématurés pour ces deux mesures. L'étude de Van Braeckel et al. (2008) avait obtenu des temps de réponse plus longs chez les enfants nés prématurés que chez les enfants nés à terme. Ce résultat n'est pas retrouvé ici, mais on peut noter que les temps de réaction étaient plus variables chez les enfants nés grands prématurés que chez les enfants nés à terme.

Une autre mesure de la cinématique du mouvement était la fréquence des réductions de l'écart entre l'effecteur et la cible lors de la poursuite. Cette mesure reflétait la fréquence de correction du mouvement lors de la poursuite. La fréquence des réductions de l'écart était plus

importante lorsque la cible avait une trajectoire prévisible et était moins importante lorsque la trajectoire devenait moins prévisible avec les rebonds et les déviations inattendues. Ce résultat pourrait être expliqué par une amplitude plus importante des mouvements pour récupérer la trajectoire de la cible lorsque les trajectoires étaient déviées. Chez les enfants âgés de 8 ans, la fréquence des réductions était en moyenne de 4.83 s^{-1} , tandis qu'elle était en moyenne de 3.07 s^{-1} chez des adultes dans une tâche similaire (Mallek et al., 2017). Cette comparaison suggère la prédominance des mécanismes de régulations et/ou leur imprécision chez les enfants de 8 ans par rapport aux adultes. En effet, une interprétation possible est de dire que si les enfants ajustent plus leur mouvement, c'est que leurs régulations sont moins précises. Les résultats ont montré que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental effectuaient plus de corrections de leur mouvement, c'est-à-dire avaient une fréquence des réductions plus élevée, que les enfants nés à terme dans la zone de poursuite où la cible déviait de sa trajectoire de manière imprévisible. Bien qu'il soit difficile d'interpréter cette plus grande fréquence de corrections dans cette condition spécifique, on peut proposer que cette perturbation non-prévisible et importante de trajectoire induise un mode de contrôle plus saccadé chez eux (voir Fallang, Saugstad, et Hadders-Algra, 2003) qui se manifeste moins dans des conditions plus prévisibles.

5.2. Informations apportées par les modèles d'explication de la précision de la poursuite

5.2.1. Utilisation des mesures de la cinématique du mouvement pour comprendre la précision de la poursuite

Dans l'objectif de mieux comprendre quels facteurs pouvaient influencer la précision de la poursuite, des analyses ont été menées pour étudier les liens entre cette précision (Distance entre l'effecteur et la cible) et les mesures de la cinématique du mouvement (DVM, TR, Fréquence des réductions) pour l'ensemble des enfants. Les résultats montrent que le délai visuomoteur est le facteur principal pour expliquer la précision de la poursuite et soulignent de nouveau l'importance des délais temporels des régulations du mouvement chez les enfants de 8 ans (van Roon et al., 2008). Il est à noter que la fréquence des réductions, ainsi que les temps de réaction, apportent que peu de prédiction par rapport aux résultats de poursuite (respectivement 2.9% et 1.4%). Il est intéressant d'observer la distribution des participants en fonction du modèle statistique provenant de l'analyse de régression multiple (Figure 44). Cette observation permet de dégager trois groupes d'enfants. Le premier groupe, qui a les

meilleures précisions de poursuite, est constitué uniquement d'enfants nés à terme. Le deuxième groupe, qui a une précision de poursuite moyenne, est composé d'enfants nés à terme et d'enfants nés grands prématurés. Le troisième groupe, qui a la moins bonne précision de poursuite, est constitué uniquement d'enfants nés grands prématurés. De plus, les données du premier et du troisième groupe sont assez éloignées du modèle, ce qui peut laisser supposer que le délai visuomoteur n'est peut-être pas le facteur le plus explicatif de la précision de leur poursuite. Cette représentation permet donc de mettre en évidence des différences interindividuelles importantes chez les enfants nés prématurés mais aussi chez les enfants nés à terme.

5.2.2. Variabilité des groupes étudiés

L'analyse des variances des distances entre la cible et l'effecteur n'a pas montré de différence dans la variabilité des performances entre les enfants nés à terme et les enfants nés prématurés alors que ceci a été mis en évidence dans la tâche de pointage de Van Braeckel et al. (2008, 2010) et dans le test de poursuite de Potharst et al. (2013). On pourrait penser que le groupe des enfants prématurés étaient moins hétérogènes que ceux testés dans les deux études citées, mais il n'est pas impossible que ce soit le groupe des enfants nés à terme qui ait aussi été plus hétérogène (voir Figures 44 et 45).

La prise en compte a posteriori des trois groupes d'enfants (décrits précédemment) dans les analyses des mesures de la cinématique du mouvement a permis de révéler l'existence de différents profils. En effet, un délai visuomoteur de régulation significativement plus long, et de plus nombreuses régulations du mouvement lors d'un changement inattendu de la trajectoire de la cible, ont été montrés chez les enfants nés prématurés ayant la moins bonne précision de poursuite en comparaison des enfants nés à terme ayant la meilleure précision de poursuite. De plus, le groupe d'enfants nés prématurés ayant la moins bonne précision de poursuite se distingue des enfants nés à terme ou nés prématurés ayant une précision de poursuite intermédiaire par un plus grand nombre de régulations du mouvement lors d'un changement inattendu de la trajectoire de la cible.

Comme indiqué précédemment, le fait que les groupes des enfants à précision haute et faible se distinguent du modèle prédictif révèlent que certaines variables restent encore à identifier.

5.2.3. Variables intra-individuelles

Toujours dans l'objectif de mieux comprendre quels facteurs pouvaient influencer la précision de la poursuite, des analyses ont été menées pour étudier les liens entre cette précision (Distance entre l'effecteur et la cible) et des variables intra-individuelles (sexe, pratique sportive, pratique des jeux vidéo) chez l'ensemble des enfants. Les résultats révèlent que la pratique sportive est le facteur le plus explicatif de la précision de la poursuite, confirmant ainsi les effets bénéfiques de cette pratique (Benguigui & Ripoll, 1998 ; Wrotniak, Epstein, Dorn, Jones, & Kondilis, 2006) sur les habiletés de coordination visuomotrice mobilisées dans une tâche de poursuite à 8 ans. La pratique sportive apparaît comme un facteur plus explicatif que la pratique des jeux vidéo (Green & Bavelier, 2003) ou que le sexe des participants (Flatters et al., 2014; Junaid & Fellowes, 2006) dans une tâche de poursuite à 8 ans. Par ailleurs, l'étude de la distribution de la précision de la poursuite en fonction du modèle statistique a de nouveau fait ressortir trois groupes distincts révélés dans l'analyse précédente des mesures de la cinématique du mouvement. Ce groupe d'enfants nés à terme et ce groupe d'enfants nés grands prématurés avaient de nouveau des valeurs éloignées du modèle statistique, soulignant que d'autres facteurs déterminent aussi leur précision.

5.3. Précision de la poursuite et facteurs de risque et de protection dans le groupe des enfants nés prématurés

Des analyses ont été spécifiquement réalisées pour le groupe des enfants nés grands prématurés en fonction de certains facteurs de risque et de protection relevés lors de la période périnatale (Fily et al., 2006). Cependant, les résultats n'ont pas mis en évidence de lien significatif entre la précision de la poursuite et l'âge gestationnel, ou le nombre de sessions de peau-à-peau, ou le nombre d'heures de ventilation assistée. Ces facteurs ne paraissent donc pas jouer de rôle direct à 8 ans sur les coordinations visuomanuelles. Cependant, il n'est pas exclu que certains facteurs, comme les séances de peau-à-peau, aient contribué au développement à long terme de ces coordinations indépendamment du nombre ou de la durée de l'événement.

6. Précision de la poursuite et perspectives cliniques

Des tests standardisés ont été effectués en parallèle de la tâche de poursuite. L'analyse des liens entre les scores aux tests évaluant les habiletés visuomotrices (NEPSY-2, M-ABC2) et la mesure de la précision de la poursuite (distance cible-effecteur) a mis en évidence que la précision dans la tâche de poursuite était plus importante chez les enfants qui avaient un score élevé au test Lancer/Attraper de la M-ABC2, test où il est demandé à l'enfant de lancer une balle contre un mur et de la rattraper à deux mains. Ce résultat souligne que le test standardisé et la tâche de poursuite mobilisent des processus similaires.

Les comparaisons des deux groupes d'enfants au test « Viser » de la M-ABC2, dans laquelle une cible devait être atteinte, ont montré que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans avaient de moins bons scores que les enfants nés à terme du même âge. Cependant, aucune différence entre les deux groupes d'enfants en termes d'habiletés visuomotrices n'a été observée pour les autres tests de la M-ABC2 et de la NEPSY-2. Ces résultats contrastent avec ceux de Caravale et al. (2005), De Rose et al. (2013), Liebhardt et al. (2000), Pietz et al. (2004) et Torrioli et al. (2000) qui ont mis en exergue des habiletés visuomotrices moins efficaces et plus hétérogènes dans des tests standardisés (e.g. M-ABC version 1 et 2, VMI) chez des enfants nés prématurés sans trouble neurologique et âgés de 3 à 7 ans, en comparaison d'enfants nés à terme du même âge.

Contrairement à la majorité des tests standardisés la mesure de la précision de la poursuite, les analyses des mesures de la cinématique du mouvement ont révélé des profils spécifiques chez un certain nombre d'enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. La sensibilité de la tâche de poursuite pour détecter ces profils pourraient alors être utilisés en clinique en la transformant en test standardisé. De plus, cette tâche de poursuite permet d'accéder à des variables de la cinématique du mouvement (ex. délai visuomoteur) qui ne sont pas calculés dans le test de poursuite de la batterie ANT (Potharst et al., 2013).

Encadré 9 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée

Des études s'appuyant sur des tests standardisés et des mesures de la cinématique du mouvement ont mis en évidence de moins bonnes habiletés de contrôle visuomoteur chez des enfants nés prématurés en comparaison d'enfants nés à terme. Dans l'objectif d'étudier, à l'âge de 8 ans, les habiletés de de contrôle visuomoteur d'enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, une tâche de poursuite visuomanuelle informatisée, s'appuyant sur une interface tablette tactile / écran, a été proposée à ces enfants, ainsi qu'à des enfants nés à terme du même âge. La cible se déplaçait à vitesse constante et chaque participant effectuait plusieurs essais. Pour les analyses, ces essais étaient découpés en trois zones où la trajectoire de la cible pouvait être plus ou moins prévisible (libre, rebond, déviation). La mesure de la précision de la poursuite, ainsi que les mesures de la cinématique du mouvement, permettaient d'étudier les habiletés de coordination visuomotrice et les processus de régulation du mouvement. L'hypothèse principale avancée était que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental seraient plus en difficulté que les enfants nés à terme lorsque la trajectoire de la cible était peu ou pas du tout prévisible car leurs processus visuomoteurs seraient moins efficaces. Les résultats ont partiellement confirmé cette hypothèse en mettant en évidence que les enfants nés prématurés avaient une poursuite moins précise que les enfants nés à terme et ceci que la trajectoire soit prévisible ou non. L'analyse des facteurs explicatifs de la précision de la poursuite a montré que le délai visuomoteur était un prédicteur principal. Ce résultat souligne le rôle majeur des délais temporels impliqués dans la coordination visuomotrice à l'âge de 8 ans. Au niveau du contrôle du mouvement, il apparaît que les enfants prématurés ont produit plus de régulations dans une seule condition, la plus imprévisible. Cela peut suggérer une dominance ou une moindre précision dans ces mécanismes. Enfin, l'étude de l'implication des différentes mesures de la cinématique du mouvement dans la précision de la poursuite a révélé l'existence d'un sous-groupe d'enfants nés prématurés avec un profil atypique. Cette observation permet d'envisager une utilisation clinique de la tâche de poursuite informatisée.

***Tâche d'équilibre statique avec manipulation des
informations visuelles***

Chapitre IX. Tâche d'équilibre statique avec manipulation des informations visuelles

Les troubles perceptivo-moteurs sont plus fréquemment observés chez les enfants nés prématurés que chez les enfants nés à terme (Chapitre V – partie 3). Lorsque les critères de recrutement des participants n'excluent pas les lésions ou les troubles neurologiques majeurs et/ou les déficits sensoriels, les tests standardisés mettent en évidence de moins bonnes habiletés de contrôle postural chez les enfants nés prématurés que chez les enfants nés à terme, et ceci de 5 à 15 ans (De Kieviet, Piek, Aarnoudse-Moens, & Oosterlaan, 2009; Dziuba, Drzał-Grabiec, Truszczyńska-Baszak, Guzek, & Zajkiewicz, 2017; Eshaghi, Jafari, & Jalaie, 2015; Jongmans, Mercuri, Dubowitz, & Henderson, 1998). En revanche, lorsque les troubles et les lésions neurologiques majeurs sont définis comme des critères d'exclusion (Chapitre V – partie 3.1), les tests standardisés ne révèlent plus de différence entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme à l'âge de 3 et 7 ans (De Rose et al., 2013; Pietz et al., 2004).

L'hypothèse générale de ce travail de thèse est que la naissance prématurée pourrait être associée à un développement différent des processus perceptivo-moteurs, et ceci même dans le cas où les enfants n'ont pas de trouble neurodéveloppemental. Il est possible que les tests standardisés ne soient pas assez fins pour détecter de possibles différences liés à la prématurité. La tâche d'équilibre utilisée dans cette étude permet de questionner de possibles différences dans le contrôle postural chez des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Dans la suite du document, après avoir exposé les différentes informations sensorielles impliquées dans le contrôle postural et les différents types de mesures du contrôle postural, une première partie portera sur la régulation de la posture en fonction des caractéristiques de ces informations sensorielles chez les nouveau-nés, nourrissons et enfants nés à terme puis nés prématurés. Une deuxième partie sera consacrée à l'exposition de l'objectif et des hypothèses de recherche. La méthodologie sera décrite dans une troisième partie. Enfin, une quatrième et cinquième partie porteront sur la présentation puis la discussion des résultats.

1. Introduction

1.1. Généralités

1.1.1. Activités de positionnement de l'organisme et informations sensorielles

Le contrôle de la posture, impliqué dans l'ensemble des tâches motrices, nécessite la perception d'informations visuelle, vestibulaire et somatosensorielle (proprioceptive et tactile) (Bremner, Lewkowicz, & Spence, 2012; Klam, 2003; Mergner & Rosemeier, 1998; Peterka, 2002). Les informations proprioceptives donnent des indications sur la position des différentes parties du corps (Van Beers, Sittig, & Denier Van Der Gon, 1998), tandis que le système vestibulaire fournit des informations sur la position et les mouvements de la tête dans l'espace (Math, Kahn, & Vignal, 2008). Les informations vestibulaires et proprioceptives sont perçues en permanence par l'organisme tandis que les informations visuelles peuvent ne pas être disponibles (ex. dans le noir).

1.1.2. Utilisation de différentes mesures du contrôle postural

L'analyse du contrôle postural permet donc d'étudier les couplages perception-action impliquant ces informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives. Cette analyse s'appuie notamment sur différentes mesures citées dans les travaux de Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, et Myklebust (1996) qui sont classées en deux domaines : temporel et fréquentiel. Dans le domaine temporel, les mesures sont, par exemple, la moyenne quadratique du signal des déplacements du centre des pressions (CdP) (notée RMS pour Root Mean Square), l'aire de l'ellipse contenant 95% du signal des déplacements du CdP, la vitesse de déplacement du CdP. Dans le domaine fréquentiel, les mesures sont, par exemple, la dispersion fréquentielle et la puissance fréquentielle. Ce que ces deux types de mesure, utilisés dans ce travail de recherche, peuvent révéler du contrôle postural sera détaillé par la suite.

Une autre mesure possible du contrôle postural, qui sera aussi utilisée par la suite, porte sur les caractéristiques des séries temporelles du signal postural pour mener des analyses non linéaires, c'est-à-dire observer la complexité du contrôle postural. Une complexité suffisamment élevée traduit des comportements adaptables et est liée à une bonne santé (Decker, Cignetti, & Stergiou, 2010). Dans le modèle théorique de Stergiou, Harbourne, et

Cavanaugh (2006), une complexité importante est caractérisée par des fluctuations chaotiques ; tandis qu'une complexité faible est composée de fluctuations périodiques ou aléatoires indiquant un système trop rigide ou trop instable. Les caractéristiques d'un système chaotique sont donc situées entre les systèmes hautement prédictibles et les système très aléatoires et bruités (Decker, Cignetti, & Stergiou, 2010) (Figure 49).

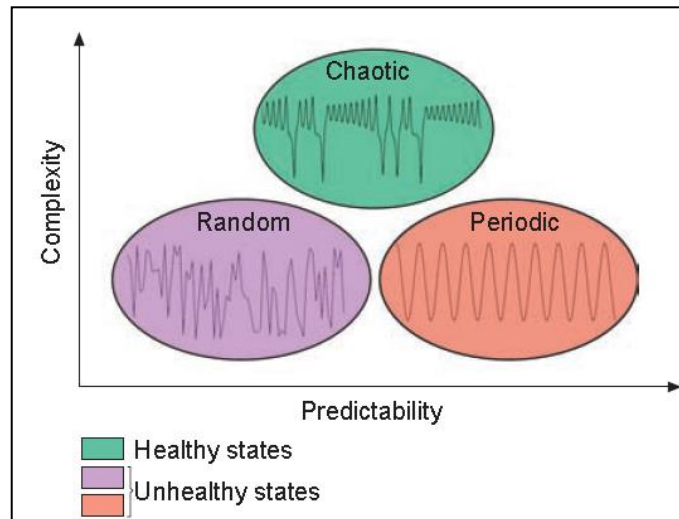


Figure 49. Illustration du lien entre complexité, prédictibilité et santé. Extrait de Decker et al. (2010).

La notion de complexité a été reprise pour le contrôle postural dans le modèle proposé par Dusing (2016). Dans ce modèle, la complexité est présentée comme une mesure de la variabilité des stratégies utilisées pour contrôler la posture, ou de la variabilité du contrôle postural lui-même. Ce modèle est d'autant plus pertinent qu'il fait le lien entre la complexité et les boucles perception-action. Ainsi, la variabilité dans la structure temporelle du contrôle postural conditionne les possibilités de couplages perception-action. Une variabilité optimale (Figure 50 a) traduit une sélection appropriée des stratégies de contrôle postural, une variabilité réduite (Figure 50 b) reflète un nombre limité de stratégies et d'expériences de couplages perception-action, et enfin une variabilité très élevée (Figure 50 c) correspondra à une absence de stratégie adaptée. L'importance de cette variabilité dans le développement moteur avait aussi été mise en évidence dans les études de Hadders-Algra (2000, 2003, 2008) (Chapitre IV – partie 2.3). Par exemple, une plus faible variabilité des mouvements généraux chez les nourrissons nés prématurés était un facteur de risque du développement de troubles moteurs majeurs comme la paralysie cérébrale (Hadders-Algra, 2004).

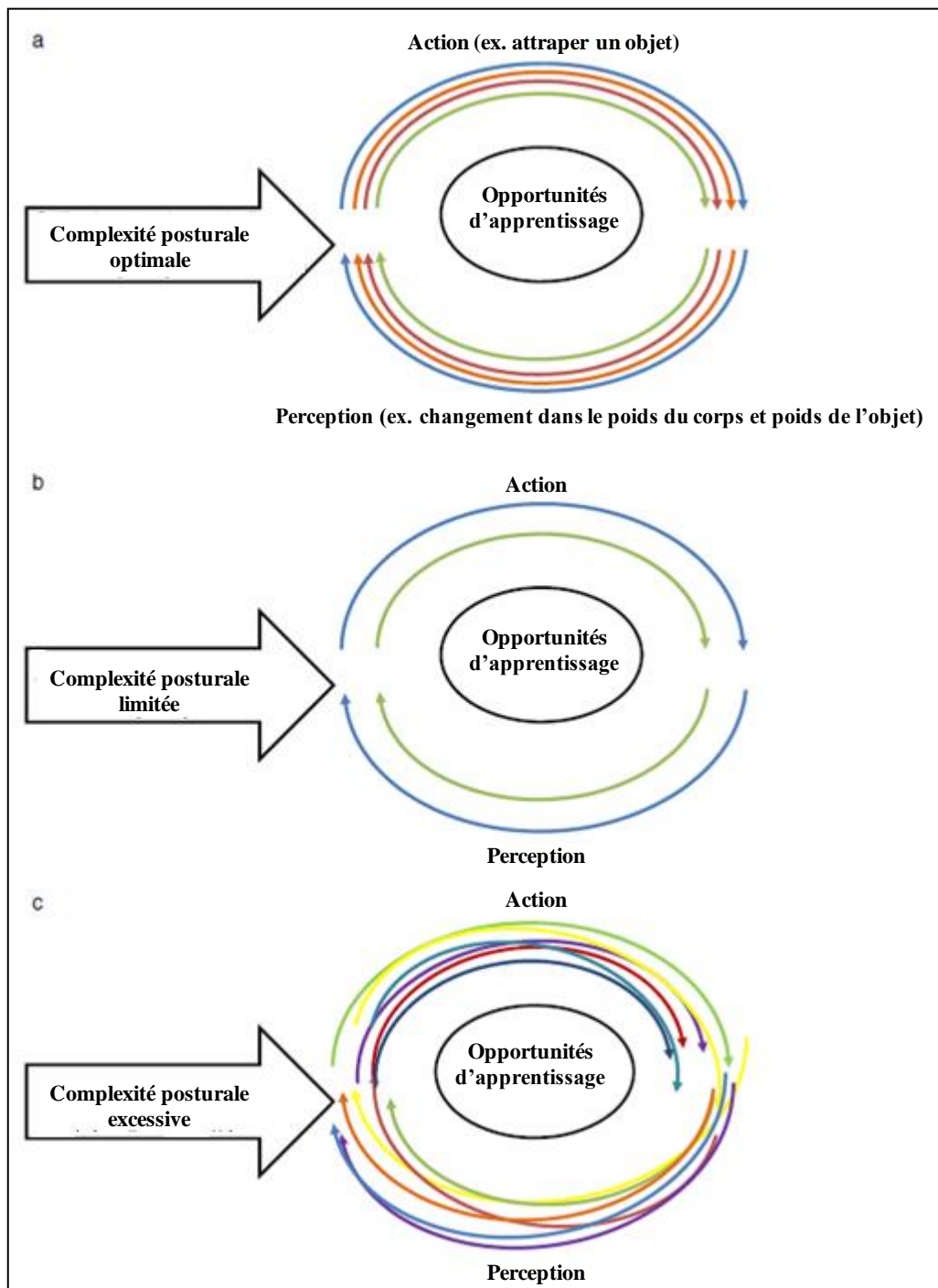


Figure 50. Modèle théorique de la relation entre les couplages perception-action et la complexité posturale. Chaque ligne représente une possibilité de couplage entre action et perception. Extrait de Dusing (2016).

1.2. Influence des informations visuelles sur le contrôle postural chez le nouveau-né, le nourrisson et l'enfant né à terme

1.2.1. Rôle des informations visuelles et du flux visuel

Les informations visuelles jouent un rôle important dans la stabilité posturale. En effet, la privation visuelle augmente les oscillations du corps chez les adultes (ex. Jouen & Bloch, 1981) et plus encore chez les jeunes enfants (4 ans) qui ont des difficultés à rester dans une station debout les yeux fermés (Forssberg & Nashner, 1982). L'influence des informations visuelles est étudiée au travers de la privation de ces informations, mais aussi par le biais de l'ajout d'un flux visuel lors des mesures du contrôle postural.

Un flux sensoriel se définit comme un apport continu et orienté d'informations pouvant être traitées par un système sensoriel. Il peut être gravitaire, tactile, auditif, chimique ou visuel (Bullinger, 2015). Dans le cas de la présentation d'un flux visuel, l'illusion perceptive d'un mouvement, appelée «vection», est induite par des informations visuelles captées par la périphérie de la rétine. La stimulation visuelle peut être linéaire ou circulaire. Lorsqu'elle est perçue par un individu statique, elle engendre une situation d'interaction conflictuelle entre les systèmes visuel et vestibulaire : des informations de mouvement sont perçues par le système visuel mais pas par le système vestibulaire (Jouen & Bloch, 1981; Klam, 2003).

1.2.2. Étude du contrôle postural chez le nourrisson et le nouveau-né

Parmi les premiers travaux menés chez les nourrissons, Lee et Aronson (1974) ont étudié l'influence des informations visuelles sur le contrôle postural de nourrissons de 13 à 16 mois. L'objectif était d'étudier les particularités des couplages perception-action chez les nourrissons dans le maintien de la posture. Pour induire unevection, ils ont utilisé un système appelé «la chambre mobile». Dans ce dispositif, le conflit visuo-vestibulaire est provoqué par le flux optique créé par les déplacements des murs de la chambre dans le sens antéro-postérieur. Les nourrissons qui étaient soumis à ces perturbations perdaient l'équilibre. Quelques années après, Bertenthal et Bai (1989) ont mis en évidence des réponses posturales similaires chez des nourrissons de 5 à 9 mois en position assise en utilisant aussi une chambre mobile (Figure 51). En faisant varier les conditions de présentation des flux optiques, les auteurs ont pu noter que les caractéristiques des réponses posturales dépendaient de la localisation du flux dans le champ optique. Ainsi, le flux présenté en périphérie de la chambre

induisait des réponses posturales plus amplifiées que lorsque le flux était présenté dans la partie centrale. Bertenthal et Bai (1989) ont résumé les résultats de leur étude en avançant que la sensibilité au flux optique pour contrôler la posture émergerait graduellement durant la première moitié de la première année de vie, période pendant laquelle les nourrissons développent un meilleur contrôle dans les postures statiques et dynamiques.

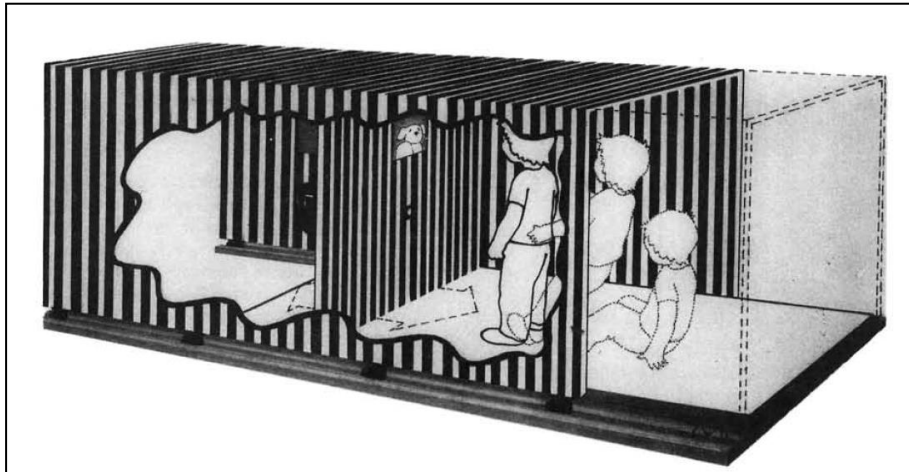


Figure 51. Schéma de l'intérieur du dispositif de la chambre mobile dans le cas où la stimulation visuelle était présentée dans la partie centrale du champ visuel. Extrait de Bertenthal et Bai (1989).

Les études menées auprès des nouveau-nés ont montré une prise en compte encore plus précoce des informations visuelles par l'organisme pour ajuster sa posture (e.g. Jouen & Bloch, 1981; Jouen & Molina, 2000). Par exemple, l'étude de Jouen et al. (2000) a révélé, en s'appuyant sur la présentation d'un flux optique périphérique bilatéral antéro-postérieur, que les nouveau-nés de 3 jours étaient déjà sensibles au flux optique. La prise en compte du flux visuel dans le contrôle postural de ces nouveau-nés se traduisait par une réponse de recul de la tête lors de sa présentation. Cette réponse d'ajustement postural révèle une forte sensibilité aux flux visuels présente dès la naissance.

1.2.3. Étude du contrôle postural chez l'enfant

Dans l'étude de Gaertner et al. (2013), des mesures du domaine temporel du contrôle postural (ex. surface de l'ellipse de déplacement du CdP, vitesse de déplacement du CdP) ont été menées lors d'une tâche d'équilibre statique, avec ou sans flux visuel, proposée à des enfants âgés de 6 à 8 ans. Le flux visuel était un flux optocinétique se déplaçant à droite et à gauche sur un écran incurvé. Dans deux conditions, une tâche d'évaluation de la verticale

visuelle subjective (VVS) était effectuée en même temps que la tâche d'équilibre statique. Les résultats n'ont pas révélé de différence significative pour la vitesse des déplacements du CdP (Figure 52), ainsi que pour la longueur parcourue par le CdP, entre les conditions de présentation du flux visuel et les conditions où les informations visuelles étaient absentes (yeux fermés ou uniquement un point de fixation). Les résultats n'ont donc pas mis en évidence de différence dans le contrôle postural entre la présentation d'un flux visuel et l'absence d'information visuelle chez les enfants âgés de 6 à 8 ans. Ce résultat pourrait montrer que la posture des enfants n'était pas plus perturbée par l'absence d'information visuelle que par un conflit sensoriel visuo-vestibulaire. Il est cependant important de noter que ces résultats sont difficilement interprétables en termes d'implication des informations sensorielles puisque que ces deux conditions peuvent perturber le contrôle postural.

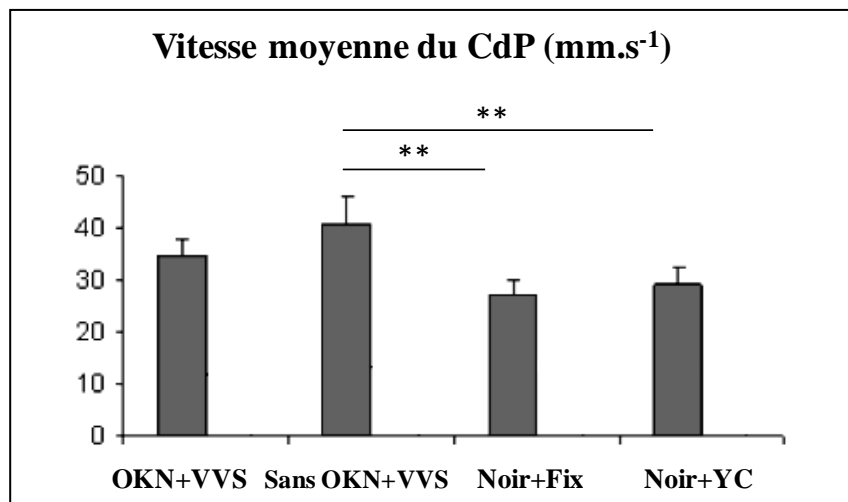


Figure 52. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles chez des enfants de 6 à 8 ans. Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives. OKN : flux optocinétique, VVS : tâche d'évaluation de la verticale visuelle subjective, Fix : Point de fixation visuel, YC : yeux fermés. Extrait de Gaertner et al. (2013).

1.3. Contrôle postural et influence des informations sensorielles chez les nourrissons et enfants nés prématurés

1.3.1. Régulations posturales sans manipulation des informations sensorielles chez les nourrissons nés prématurés

Pour étudier les habiletés de contrôle postural des nourrissons nés prématurés, les chercheurs ont utilisé des tâches d'atteinte d'objets durant lesquelles des analyses temporelles et non linéaires (Chapitre IX - partie 1.1.) étaient menées. L'étude de Fallang, Saugstad, et Hadders-Algra (2003) s'est intéressée au contrôle postural de nourrissons nés prématurés (24 à 34 SA), âgés de 4 et 6 mois d'âge corrigé, dans une position allongée sur le dos. Les nourrissons ne présentaient pas de lésion neurologique majeure, ni de PC. Une plateforme de force mesurait les caractéristiques des déplacements du CdP pendant le geste d'atteinte d'un jouet. L'analyse des mesures du domaine temporel du contrôle postural a montré qu'aux âges de 4 et 6 mois, les déplacements totaux du CdP, le nombre d'oscillations dans la direction médio-latérale (ML) et dans la direction antéro-postérieure (AP), ainsi que la vitesse maximale (V_{max}), étaient significativement moins importants chez les nourrissons nés prématurés que chez les nourrissons nés à terme. Ces différences n'empêchaient cependant pas les nourrissons nés prématurés d'avoir de bonnes habiletés d'atteinte. Ces résultats pourraient donc refléter un contrôle postural plus rigide car moins variable chez les nourrissons nés prématurés (moins d'oscillations).

Dans l'étude de Dusing, Izzo, Thacker, & Galloway (2014), des nourrissons nés à terme et nés prématurés (24 à 32 SA) effectuaient une tâche d'atteinte d'un objet en position allongée sur le dos. Une condition contrôle sans objet à atteindre était ajoutée afin d'étudier les mouvements spontanés associés au contrôle de la tête. Aucun critère d'exclusion suivant le poids à la naissance, les lésions neurologiques, ou les complications respiratoires n'était appliqué. Des mesures du contrôle postural étaient effectuées régulièrement, de la naissance à 6 mois d'âge corrigé, par le biais de l'analyse des vidéos des déplacements du CdP et des mesures de pression. La variabilité des déplacements était représentée par la moyenne quadratique de l'amplitude des déplacements du CdP (RMS). Les résultats ont montré que les groupes n'étaient pas différents pour cette mesure dans la condition contrôle. Cependant, les nourrissons nés prématurés présentaient une variabilité posturale plus importante que ceux nés à terme dans la condition où un objet devait être atteint. Ce résultat était observé à la fois dans la direction cranio-caudale, mais aussi dans la direction médio-latérale. Ce résultat pouvant

correspondre à la recherche d'une stratégie adaptée était donc complètement différent de ceux obtenus par Fallang, Saugstad, et Hadders-Algra (2003) qui avaient observé un déplacement moins variable du CdP chez les nourrissons nés prématurés par rapport aux nourrissons nés à terme. Les critères de recrutement des participants, excluant ou non les lésions neurologiques majeures, pourraient en partie expliquer cette différence.

Dans cette même étude (Dusing, Izzo, Thacker, & Galloway, 2014), une analyse non linéaire de la structure des séries temporelles des déplacements du CdP était effectuée pour calculer « l'entropie approximée ». L'entropie se définit comme la perte d'informations dans des séries temporelles ou dans un signal (Yentes et al., 2013). Cet indice renvoie donc à la complexité du contrôle postural, c'est-à-dire la régularité d'une série temporelle : plus sa valeur augmente, plus la série temporelle est irrégulière ; plus sa valeur diminue, plus la série temporelle est régulière et donc prédictible (Ramdani et al., 2011) (Chapitre IX – partie 1.1.2). Les résultats ont mis en avant des valeurs d'entropie plus basses chez les nourrissons nés prématurés en comparaison des nourrissons nés à terme. La régularité des séries temporelles des nourrissons nés prématurés était donc plus importante en comparaison de celles des nourrissons nés à terme. Cette régularité plus importante chez les nourrissons nés prématurés se traduisait par plus de répétitions et donc des stratégies posturales moins adaptées. Cette différence était observée à la fois dans la situation contrôle sans objet, comme dans la situation avec un objet. Cependant, elle était mise en évidence uniquement dans la direction médio-latérale et non cranio-caudale. La direction médio-latérale est donc un axe postural à prendre en compte dans les analyses du contrôle postural chez les individus nés prématurés. En résumé, la variabilité posturale des nourrissons nés prématurés étaient plus élevée, mais cette variabilité ne semblait pas leur permettre d'accéder à une bonne stratégie posturale.

1.3.2. Mesures du fonctionnement du système vestibulaire chez des nourrissons et enfants nés prématurés

Le lien entre le fonctionnement du système vestibulaire et les habiletés de contrôle postural a notamment été mis en évidence dans l'étude de Eshaghi et al. (2015) menée auprès d'enfants nés à terme et nés prématurés, tous âgés de 5 à 6 ans. En termes de critère d'inclusion des participants, une bonne santé globale, un bon fonctionnement auditif et l'absence de problème psychologique étaient vérifiés. Les résultats de cette étude ont montré une corrélation significative entre les mesures physiologiques du fonctionnement vestibulaire et les scores à un sous-test du Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency – version 2

(BOT-2), où il était demandé au participant de rester en équilibre sur une jambe les yeux fermés sur une planche d'équilibre. Cette observation souligne donc l'intérêt d'étudier le fonctionnement vestibulaire chez les individus nés prématurés.

Une étude de Bart, Shayevits, Gabis, et Morag (2011) s'appuyant sur le Test des fonctions sensorielles du nourrisson (TSFI), qui consiste à observer les comportements spontanés ou suite à des stimulations, a montré des scores de réaction à une stimulation vestibulaire plus bas chez des nourrissons nés prématurés (après 33 SA) et âgés de 12 mois que chez des nourrissons nés à terme. Les critères d'inclusion des participants concernaient uniquement l'âge gestation, l'alimentation, le poids et la stabilité de la température corporelle.

Cette étude est complétée par d'autres recherches s'appuyant sur des données physiologiques indiquant le fonctionnement du nerf vestibulaire inférieur et sacculaire, c'est-à-dire sur la mesure des potentiels évoqués myogéniques ou vestibulaires cervicaux (cVEMP) pris au niveau des muscles sterno-cléido-mastoïdiens et dont la mobilisation est induite par des stimuli sonores de forte intensité. En utilisant cette méthode, l'étude de Wang, Chen, Hsieh, et Young (2008) ont montré que 26% des nourrissons nés prématurés (33.7 SA) âgés de 36.6 semaines d'âge corrigé, présentaient une réponse réflexe sacculocollique, contre 72% des nourrissons nés à terme. Ces résultats sont cependant nuancés quant au possible effet d'un tonus musculaire moins important chez les nourrissons nés prématurés.

Cette différence, entre des individus nés prématurés et des individus nés à terme, a aussi été révélée dans les études de Ecevit et al. (2012) et Eshaghi, Jafari, Shaibanizadeh, Jalaie, et Ghaseminejad (2014). Ces études portaient sur les mesures des cVEMP respectivement chez des nourrissons nés prématurés (35.11 SA) âgés de 8 semaines et des enfants nés prématurés (34.9 SA ou 30.60 SA) âgés de 5 ans et demi à 6 ans. Les chercheurs ont ainsi montré une différence de latence dans deux ondes mesurées (p13 et n23), et plus précisément qu'elles étaient plus lentes chez les individus nés prématurés que chez les individus nés à terme. D'après ces auteurs, les résultats peuvent être interprétés comme un délai de maturation des voies vestibulo-spinales. Ainsi, ces observations pourraient impliquer une plus grande dépendance visuelle.

1.3.3. Analyses temporelles du contrôle postural des enfants nés prématurés

Dans l'objectif d'étudier le développement à long terme du contrôle postural dans le contexte d'une naissance prématurée, les études de Bucci et al. (2015) et Gaertner et al. (2013) ont proposé des tâches d'équilibre statique dans différentes conditions sensorielles à

des enfants nés prématurés entre 24 et 28 SA qui n'avaient pas de syndrome génétique, ni de malformation congénitale sévère. Cependant, seulement 49 à 52% des enfants nés prématurés recrutés avaient un IRM normal, c'est-à-dire sans anomalie corticale, avec une bonne maturation des gyri et une taille normale de l'espace sous-arachnoïdien. Les enfants avec un retard de développement, mis en évidence par le biais du Test de Brunet-Lezine ou de la Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence – version 3 et 4 (WPPSI-3/4), n'étaient pas exclus. Les résultats concernant les mesures du domaine temporel seront tout d'abord détaillés. Ils seront suivis des résultats concernant les mesures du domaine fréquentiel.

L'étude de Bucci et al. (2015) a été menée auprès d'enfants nés prématurés (24 à 28 SA) et des enfants nés à terme, tous âgés de 3 à 5 ans. Les analyses temporelles du contrôle postural étaient effectuées pour une tâche d'équilibre statique dans le noir dans différentes conditions : yeux ouverts avec un point de fixation ; yeux fermés ; avec une stimulation optocinétique ; sans stimulation optocinétique. Lors des conditions impliquant une stimulation optocinétique, et dans la condition « sans stimulation optocinétique », il était aussi demandé aux enfants d'estimer leur VVS.

Contrairement aux résultats de Gaertner et al. (2013) concernant des enfants nés à terme, les déplacements du CdP étaient significativement plus importants dans les conditions avec une perturbation optocinétique que dans les conditions sans information visuelle ou avec uniquement un point de fixation (salle dans le noir). Cependant, les résultats ne permettaient pas de savoir si l'effet de la condition était dû à la stimulation optocinétique ou à la mesure de la VVS. En effet, la mesure de la VVS avait elle-même un effet sur les déplacements du CdP et était effectuée en même temps que la stimulation optocinétique. La vitesse des déplacements du CdP était, contrairement aux résultats de Gaertner et al. (2013), significativement plus élevée dans les conditions avec une perturbation optocinétique que dans les conditions sans information visuelle ou avec uniquement un point de fixation (Figure 53). La mesure de la VVS seule n'avait pas d'effet sur la vitesse de déplacement du CdP, par conséquent l'effet de la condition était bien expliqué par la stimulation optocinétique.

En résumé, les résultats ont montré que les enfants nés prématurés avaient plus de difficultés pour contrôler leur posture que les enfants nés à terme, ce qui se traduisait par des déplacements plus importants du CdP et une vitesse moyenne des déplacements plus élevée. La comparaison des deux groupes d'enfants a donc révélé que lorsque les enfants nés prématurés n'avaient pas accès aux informations visuelles, ou lorsque les informations visuelles fournies créaient un conflit visuo-vestibulaire, leur contrôle postural était plus

variable et moins efficient que les enfants nés à terme. D'après ces observations, il est donc possible d'avancer que les enfants nés prématurés s'appuieraient plus sur les informations visuelles que sur les autres informations sensorielles (proprioceptive, vestibulaire) pour contrôler leur posture.

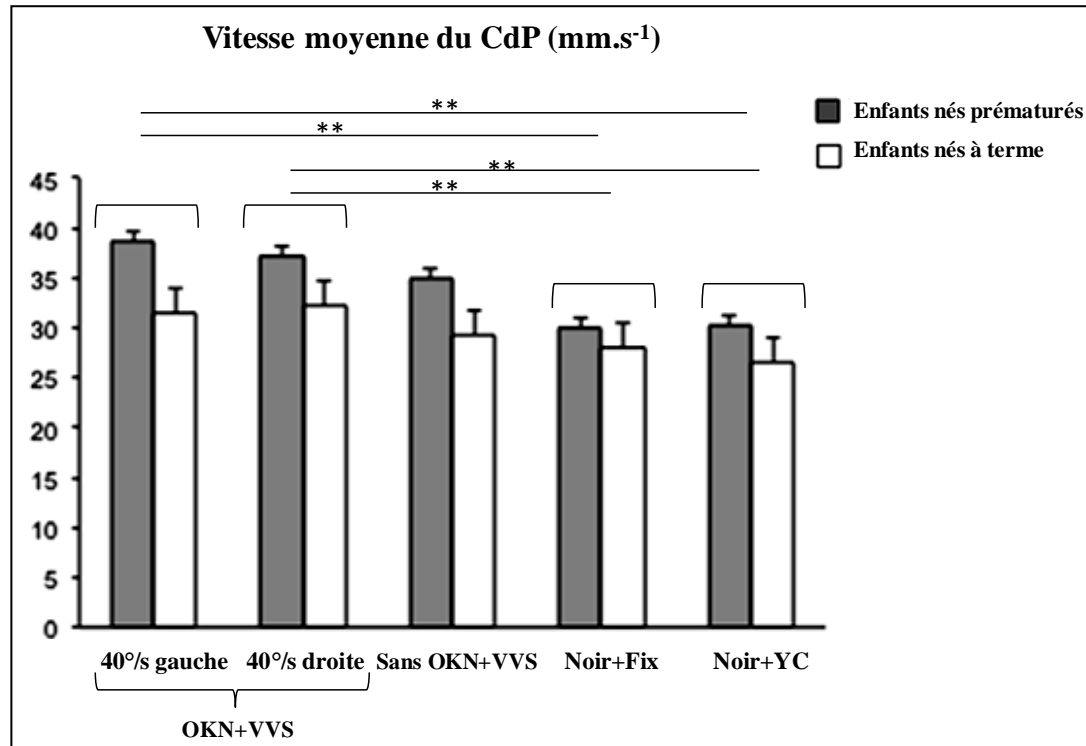


Figure 53. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles et en fonction des groupes (nés à terme vs. nés prématurés). Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives entre les conditions. OKN : flux optocinétique, VVS : tâche d'évaluation de la verticale visuelle subjective, Fix : Point de fixation visuel, YC : yeux bandés. Extrait de Bucci et al. (2015).

Une autre étude de Bucci et al. (2017) s'est intéressée au contrôle postural d'enfants nés prématurés (24 à 28 SA) ou nés à terme, tous âgés de 3 à 6 ans. Les chercheurs ont proposé une tâche d'équilibre statique dans trois conditions (yeux ouverts avec uniquement un point de fixation, yeux fermés, et perturbation optocinétique), toutes présentées dans deux conditions posturales différentes : plateforme stable, plateforme instable. Un effet significatif de la condition posturale a été montré au travers de déplacements du CdP plus importants et d'une vitesse de déplacement du CdP plus grande lorsque la plateforme était instable que lorsqu'elle était stable. Dans les conditions où la plateforme était stable, une différence était observée indépendamment du groupe d'enfants, comme dans l'étude de Bucci et al. (2015),

entre la condition de stimulation optocinétique et les deux autres conditions (yeux ouverts et bandés) pour ces deux mesures temporelles du contrôle postural.

Par ailleurs, les résultats ont mis en évidence des déplacements plus importants du CdP chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme pour toutes les conditions. Cette observation confirme les résultats de Bucci et al. (2015). Une augmentation significative de la vitesse moyenne des déplacements était aussi relevée chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme, mais uniquement lorsque la plateforme était instable et lors de la condition de perturbation visuelle pour la « plateforme stable » (Figure 54). La comparaison des deux groupes d'enfants a ainsi révélé que lorsque les enfants nés prématurés n'avaient pas accès aux informations visuelles, ou lorsque les informations visuelles fournies créaient un conflit visuo-vestibulaire, leur contrôle postural était plus variable que les enfants nés à terme. Il est apparu que même en absence d'information visuelle, le contrôle postural des enfants nés prématurés était aussi efficient que celui des enfants nés à terme, mais seulement lorsque les informations proprioceptives étaient stables (plateforme stable) et que les informations vestibulaires n'étaient pas en conflit avec les informations visuelles.

Les caractéristiques du contrôle postural observées dans les conditions sans information visuelle, ou uniquement avec un point de fixation, montrent donc que, contrairement aux résultats de Bucci et al. (2015), les enfants nés prématurés ne sont pas plus dépendants de la vision pour contrôler leur posture que les enfants nés à terme, mais ils seront plus déstabilisés lors de la manipulation des informations proprioceptives et de conflits visuo-vestibulaires. Les enfants étant un peu plus âgés dans l'étude de Bucci et al. (2017) que ceux de l'étude de Bucci et al. (2015), ces résultats différents pourraient s'expliquer par un effet de l'âge sur l'implication des différentes informations sensorielles sur le contrôle postural (Bair, Kiemel, Jeka, & Clark, 2007).

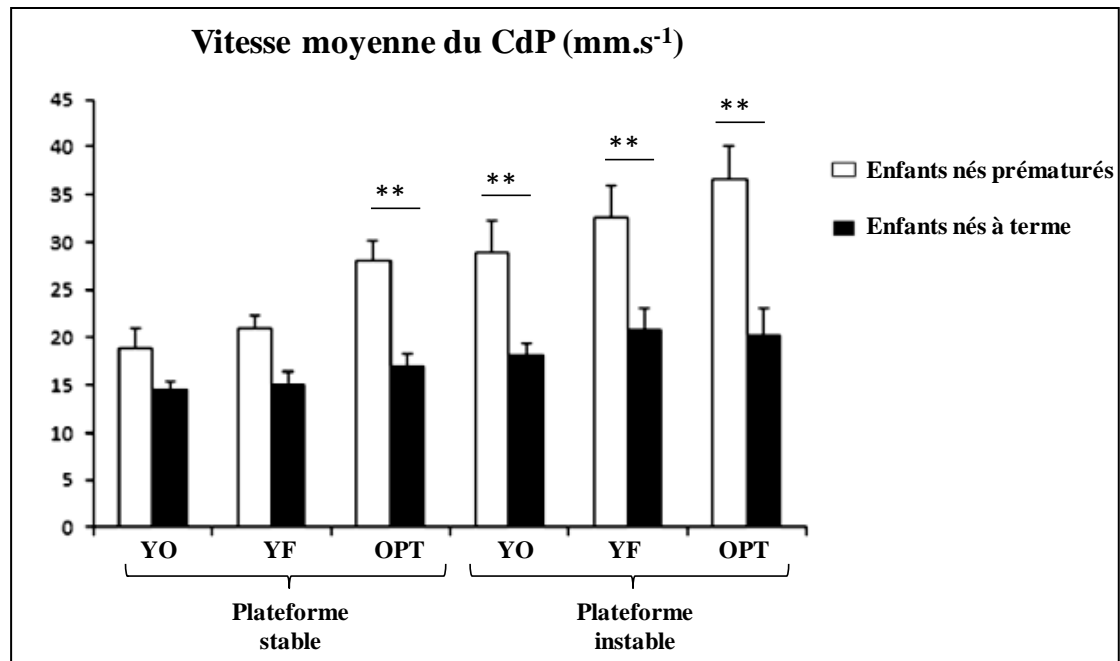


Figure 54. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles et de plateforme, ainsi qu'en fonction des groupes (nés à terme vs. nés prématurés). Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives entre les groupes d'enfants. OPT : flux optocinétique, YO : yeux ouverts, YF : yeux fermés. Extrait de Bucci et al. (2017).

1.3.4. Mesures dans le domaine fréquentiel du contrôle postural des enfants nés prématurés

La structure du signal postural peut aussi être décrite en termes de fréquences d'oscillations du corps. Lors d'une analyse du contrôle postural effectuée sur un temps donné, plusieurs fréquences d'oscillations peuvent être observées, permettant d'établir une mesure du domaine fréquentiel appelée « spectre de fréquence ». La puissance spectrale d'une fréquence correspondra à la représentativité de cette fréquence dans ce spectre. Une fréquence d'oscillation élevée, ainsi qu'un spectre de fréquence composé de nombreuses fréquences (large dispersion) traduira alors un contrôle postural plus coûteux et difficile (Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996).

L'étude de Bucci et al. (2017), précédemment citée, a utilisé des mesures fréquentielles pour étudier le contrôle postural des enfants nés prématurés (24 à 28 SA) ou nés à terme, tous âgés de 4 à 6 ans. Des mesures de la puissance spectrale ont été effectuées dans la direction antéro-postérieure pour trois bandes de fréquence, renvoyant chacune au fonctionnement de structures neurologiques : 0-0.5Hz (visuo-vestibulaire) ; 0.5-1.5Hz (cervelet) ; 1.5Hz (boucles

réflexives, proprioception) (Bucci, Stordeur, Acquaviva, Peyre, & Delorme, 2016). Les résultats ont mis en évidence que les indices de puissance spectrale étaient significativement plus élevés chez les enfants nés prématurés, c'est-à-dire qu'ils utilisaient plus d'énergie pour contrôler les oscillations de leur corps. Cet effet de la prématurité était plus accentué dans la condition de la stimulation optocinétique que lorsque les informations visuelles étaient absentes, et l'effet de la prématurité était observé uniquement pour la bande de fréquence basse (0-0.5Hz) et non pour les bandes de fréquence médiane et haute. Ces résultats montrent une nouvelle fois que les enfants nés prématurés seraient plus déstabilisés lors d'un conflit sensoriel visuo-vestibulaire. L'importance des informations vestibulaires dans le contrôle postural des enfants nés prématurés est soulignée par l'effet de la prématurité observé uniquement pour une bande de fréquence correspondant au fonctionnement des structures neurologiques visuo-vestibulaires (Bucci, Stordeur, Acquaviva, Peyre, & Delorme, 2016).

Encadré 10 - Informations clés associées à la tâche d'équilibre statique

Les recherches menées chez les enfants nés prématurés sans critère d'exclusion concernant le statut neurologique ont mis en évidence une prévalence plus importante de difficultés perceptivo-motrices dans les tests standardisés impliquant l'équilibre que chez les enfants nés à terme. Cependant, les rares données concernant les enfants nés prématurés sans trouble neurologique n'ont, elles, pas montré de différence de scores aux tests standardisés impliquant l'équilibre. Des études menées chez des nourrissons (tâche d'atteinte d'un objet) et enfants (tâche d'équilibre statique) nés prématurés, sans exclure les participants avec des lésions neurologiques, ont utilisé des analyses temporelles et fréquentielles du contrôle postural, ainsi que des analyses non linéaires du signal postural. Les résultats ont mis en évidence un contrôle postural plus variable et moins efficient, ainsi qu'une structure temporelle du contrôle postural plus prédictive car plus régulière, chez les nourrissons et enfants nés prématurés en comparaison des nourrissons et enfants nés à terme. De plus, les différentes conditions sensorielles proposées dans les tâches d'équilibre ont révélé que les enfants nés prématurés étaient plus en difficulté que les enfants nés à terme pour contrôler leur posture lorsque les stimulations visuelles étaient associées à un conflit visuo-vestibulaire. Par ailleurs, les résultats des conditions sans information visuelle, permettant d'observer la dépendance aux autres informations pour contrôler la posture, variaient selon les études et les enfants nés prématurés n'étaient pas toujours plus en difficulté que les enfants nés à terme dans ces conditions.

2. Objectif et hypothèses

2.1. Objectif

Les études présentées précédemment ont révélé un contrôle postural plus variable et moins efficient chez des nourrissons et enfants nés prématurés en comparaison de nourrissons et enfants nés à terme (Bucci et al., 2015, 2017; Dusing et al., 2014). Cependant, les lésions neurologiques n'étaient pas exclues des populations étudiées. Or l'importance du statut neurologique a été mise en évidence dans les tests standardisés impliquant des activités d'équilibre (De Rose et al., 2013; Jongmans et al., 1998). La tâche d'équilibre statique détaillée par la suite avait donc pour objectif d'étudier les habiletés de contrôle postural chez des enfants nés à terme et des enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, tous âgés de 8 ans, en utilisant des mesures classiques stabilométrique dans les domaines temporel et fréquentiel, ainsi qu'une analyse non linéaire du signal postural. Cette tâche d'équilibre était proposée dans différentes conditions permettant d'étudier l'implication des différentes informations sensorielles dans le contrôle postural chez ces deux groupes d'enfants. Une de ces conditions consistait à laisser l'accès aux informations visuelles sans manipulation de ces dernières. Cette condition contrôle, qui n'a jamais été proposée dans la littérature recensée, permettait d'étudier plus finement les effets de la privation visuelle, ainsi que les effets d'une stimulation visuelle associée à un conflit visuo-vestibulaire, sur le contrôle postural des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental.

2.2. Hypothèses

Les études de De Rose et al. (2013) et Pietz et al. (2004) n'ont pas mis en évidence de différence dans les habiletés de contrôle postural évaluées par des tests standardisés entre des enfants nés prématurés et des enfants nés à terme du même âge et sans trouble neurologique. Cependant, l'hypothèse qui a été avancée dans ce travail de thèse était que, dans le cas d'une naissance prématurée, les expériences de couplages perception-action différaient de celles des nouveau-nés à terme, ce qui impactait le développement des processus perceptivo-moteurs. Ainsi, malgré l'absence de difficulté motrice globale, il était proposé ici que les enfants nés prématurés soient plus en difficulté pour contrôler leur posture lorsque les informations

visuelles étaient absentes ou lors de la présentation d'une stimulation visuelle associée à un conflit visuo-vestibulaire. Il était aussi attendu que ces deux conditions entraînent des perturbations du contrôle postural dans les deux groupes d'enfants lorsqu'elles sont comparées à une condition contrôle dans laquelle les informations visuelles sont accessibles et non manipulées. Enfin, concernant spécifiquement le groupe des enfants nés prématurés, des effets à long terme de certains facteurs périnataux estimés comme des facteurs de risque ou de protection, comme le nombre de soins de peau-à-peau, le nombre d'heures de ventilation, et l'âge gestationnel (Fily, Pierrat, Delporte, Breart, & Truffert, 2006) étaient également analysés.

3. Méthodologie

3.1. Participants

3.1.1. Caractéristiques générales des groupes

Les caractéristiques cliniques des deux groupes de participants et leur comparaison sont résumées dans le Tableau 20. Deux groupes d'enfants ont participé à cette tâche, un groupe de 20 enfants né à terme et âgés en moyenne de 8 ans 7 mois, et un groupe de 20 enfants nés prématurés et âgés en moyenne de 8 ans 6 mois. Tous remplissaient les critères d'inclusion détaillés dans la méthode générale du protocole. Pour les variables continues, l'analyse statistique consistait en un test t de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : Groupe). Cependant, lorsque les variances n'étaient pas homogènes (test de Levene), un test t de Welch était appliqué. Pour les variables catégorielles, un test de Khi^2 de Pearson était utilisé. Les résultats de ces analyses (Tableau 19) ont montré que les groupes étaient significativement différents pour les facteurs périnataux, soit l'âge gestationnel, le poids et la taille à la naissance, mais aussi pour les mesures de la taille et du poids lors de leur participation. Une analyse de régression linéaire a confirmé le lien significatif entre la taille lors de la participation et l'âge gestationnel ($F(1,38) = 6.011, p < 0.05, R^2_{ajusté} = .011$), ainsi qu'entre le poids lors de la participation et l'âge gestationnel ($F(1,38) = 6.066, p < .05, R^2_{ajusté} = .115$). Par conséquent, ces variables ne seront pas intégrées en covariant dans la suite des analyses. Par ailleurs, le groupe des enfants nés prématurés avaient un score lié au statut socioéconomique de la famille significativement plus bas que le groupe des enfants nés à

terme. Ainsi, même si aucune hypothèse n'a été avancée sur le lien entre ce statut socioéconomique et le contrôle postural, l'effet de cette variable sur les habiletés de contrôle postural sera vérifié. Enfin, les enfants des deux groupes avaient des âges comparables lors de leur participation. Le nombre de filles et de garçons n'était pas significativement différent dans les deux groupes, de même que la répartition des droitiers, gauches et ambidextres.

Tableau 19. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche d'équilibre. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type (ET) suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,38) pour les tests *t* et de 1 pour le test du *Khi2*.

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 20	Nés prématurés (PT) N = 20	<i>t</i> de Student ou <i>t</i> Welch ^a ou <i>Khi2</i> ^b	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
Âge gestationnel moyen (SA)	39.85 (1.09 / 38-41)	31.15 (1.16 / 28-32)	24.498	< .05	7.747
Poids de naissance (g)	3457 (347 / 2850-4100)	1538 (335 / 925-2040)	17.787	< .05	5.625
Taille de naissance moyenne (cm)	49.90 (1.74 / 46-53)	40.63 (3.25 / 34-45)	11.25 ^a	< .05	3.558
Poids à la mesure (kg)	28.6 (4.28 / 21.9-36.1)	26.0 (3.09 / 20.5-31.0)	2.190	< .05	0.693
Taille à la mesure (cm)	132.1 (5.125 / 121-140)	128.3 (5.300 / 115-137)	2.305	< .05	0.729
Âge moyen à la participation	8 ans 7 mois (3 mois / 8 ans 1 mois-8 ans 11 mois)	8 ans 6 mois (4 mois / 8 ans 1 mois-8 ans 11 mois)	0.611	.545	0.193
Sexe (Filles / Garçons)	9/11	6/14	0.960 ^b	.327	/
Latéralité manuelle (Droite/Gauche/ Ambidextre)	17/2/1	16/2/2	0.364 ^b	.834	/
Statut socioéconomique des responsables légaux (score)	3.15 (1.137 / 1-6)	2.05 (0.605 / 1-3)	3.821 ^a	< .05	1.208
Pratique sportive (score)	4.359 (3.347 / 0-12)	2.913 (2.031 / 0-14)	2.728	.107	0.522

3.1.2. Caractéristiques périnatales du groupe des enfants nés prématuré

Tous les enfants nés prématurés présentaient un bilan neurologique normal à la naissance. A la sortie du service, 18 enfants sur les 20 avaient une échographie transfontanellaire (ETF) normale dans les jours suivant la naissance et 2 présentaient des hémorragies intracrâniennes de grade I. Le score Apgar mesuré à 5, 7 ou 10 minutes après la naissance s'étendait de 2 à 10, avec une moyenne de 8.20 et un écart-type de 3.10. Enfin, le nombre d'heures de ventilation assistée (invasive ou non) variaient de 0 à 792 heures, avec une moyenne de 216 heures et un écart-type de 255 heures. 2 enfants ont aussi reçu un traitement par oxygène. En moyenne, les nouveau-nés prématurés ont passé 31 jours dans le service de Néonatalogie du CHU de Caen. Cependant, ce chiffre varie beaucoup d'un enfant à l'autre, soit une étendue de 10 jours à 65 jours et un écart-type de 16 jours. 9 enfants sur les 20 ont été mutés dans un hôpital plus proche de leur domicile avant la fin des soins.

3.1.3. Résultats aux tests et questionnaire standardisés

Pour l'ensemble des analyses de comparaison des deux groupes concernant les résultats aux tests et questionnaire standardisés, les variances étant toutes homogènes entre les groupes, un test t de Student pour échantillons indépendants (variable indépendante : Groupe) a été appliqué. Les scores des tests standardisés en lien avec la tâche proposée ont été relevés (M-ABC2 Total, M-ABC2 Equilibre, ...). Parmi les résultats au questionnaire du Conners-3, les scores d'Hyperactivité, d'Inattention et d'Anxiété (Chapitre VI - 2.6.3.2) ont été notés car les profils des enfants pour ces indices pouvaient influencer les habiletés de contrôle postural (e.g. Stins, Ledebt, Emck, van Dokkum, et Beek (2009) : les enfants anxieux ont plus de balancements posturaux et le comportement postural est globalement moins complexe que celui des enfants typiques). Les résultats, résumés dans le Tableau 20, n'ont pas montré de différence entre les groupes pour l'ensemble des variables.

Tableau 20. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche d'équilibre statique pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses les écart-types (ET) suivis de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,38).

	Groupes		Statistiques		
	Nés à terme (NT) N = 20	Nés prématurés (PT) N = 20	<i>t</i> de Student	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
M-ABC2 Total (pc)	56.50 (23.17 / 16-91)	46.20 (24.66 / 16-95)	1.361	.181	0.430
M-ABC2 Équilibre (pc)	51.95 (28.90 / 9-95)	43.45 (26.41 / 5-95)	0.971	.338	0.307
Équilibre une jambe (note standard)	10.75 (2.593 / 6-14)	9.50 (3.285 / 4-14)	1.336	.190	0.422
Marcher en avant T/P (note standard)	10.25 (1.916 / 4-11)	10.35 (1.599 / 6-11)	-0.179	.859	-0.057
Sauter à cloche-pied (note standard)	10.60 (1.957 / 8-12)	10.10 (2.532 / 5-12)	0.699	.489	0.221
Conners-3 Anxiété (score)	3.4 (2.458 / 0-10)	4.55 (3.017 / 0-10)	-1.332	.194	-0.418
Conners-3 DSM-IV Inattention (score T)	53.90 (9.043 / 41-76)	53.60 (7.507 / 42-75)	0.114	.910	0.036
Conners-3 Hyperactivité (score T)	57.55 (13.02 / 40-85)	57.85 (11.36 / 40-85)	-0.078	.939	-0.025

3.2. Description du dispositif et stimuli visuels

La tâche proposée aux enfants était une tâche d'équilibre statique dans laquelle les mesures du contrôle postural étaient effectuées à l'aide d'une plateforme de posturographie *MIDI CAPTEURS* de 460 mm de côté (constructeur : QFP SYSTEMES). Différentes conditions étaient proposées et il était demandé à l'enfant de rester le plus statique possible. L'ensemble du dispositif était constitué de plusieurs composants informatiques et électroniques. Un ordinateur portable envoyait les informations nécessaires à deux rétroprojecteurs *Optoma* (modèle DAEPGLKGp) via un boîtier *Analog Monitor Splitter* qui permettait de doubler un même affichage. Les deux rétroprojecteurs étaient soutenus par des pieds de la marque

Manfrotto (modèle 055). Afin que la projection soit strictement symétrique, un des rétroprojecteurs était réglé pour que son affichage s'effectue en miroir de l'autre. Le support de projection était composé de deux kakémonos en bois sur lesquels étaient placées des grandes feuilles de papier-calque. La résolution était fixée à 1280x720 pixels avec un affichage de la partie la plus large sur la hauteur des calques (rotation de 90° de l'affichage). L'ensemble de la cabine, formée par les deux écrans de calque, était fermée sur un côté (celui qui faisait face à l'enfant) par un tissu noir opaque sur lequel était accroché le dessin d'un visage sympathique de chat dont le nez lumineux servait de point de fixation visuel. Enfin, l'ordinateur portable recevait les informations de posturographie de la plateforme.

Différents logiciels informatiques étaient nécessaires afin d'assurer le couplage entre les différents composants du dispositif et d'effectuer les mesures. Le logiciel *Virtual serial ports* servait à coordonner les affichages des deux rétroprojecteurs. Le logiciel *Stimplat* gérait les paramètres et caractéristiques de l'affichage sur les deux écrans de calque lors des mesures. Ce même logiciel permettait de coordonner les mesures de posturographie aux différentes conditions d'affichage. Et enfin, le logiciel *Win Posture NV Software* servait à recueillir les données de posturographie avec une fréquence de mesure de 40Hz (version 1.8, Twin Box V 4,64, WPosturo). Un schéma global (Figure 55), ainsi que des photos (Figure 56), illustrent les caractéristiques du dispositif. La Figure 57 donne un exemple du graphique de posturographie proposé par le logiciel *Win Posture*.

Les stimuli visuels utilisés étaient un schéma lumineux composé d'une alternance de bandes noires et blanches de 10 cm de large. Ce schéma lumineux était présenté de manière statique ou de manière dynamique. Dans la condition dite dynamique, les bandes défilaient de manière bilatérale suivant une période sinusoïdale 0.0625 Hz avec une vitesse moyenne de 10 cm.s⁻¹. Le mouvement des bandes créait un flux visuel ayant pour objectif de perturber la posture des participants, les fréquences entre 0-0.5 Hz étant associées aux couplages visuo-vestibulaires (Bucci et al., 2017).

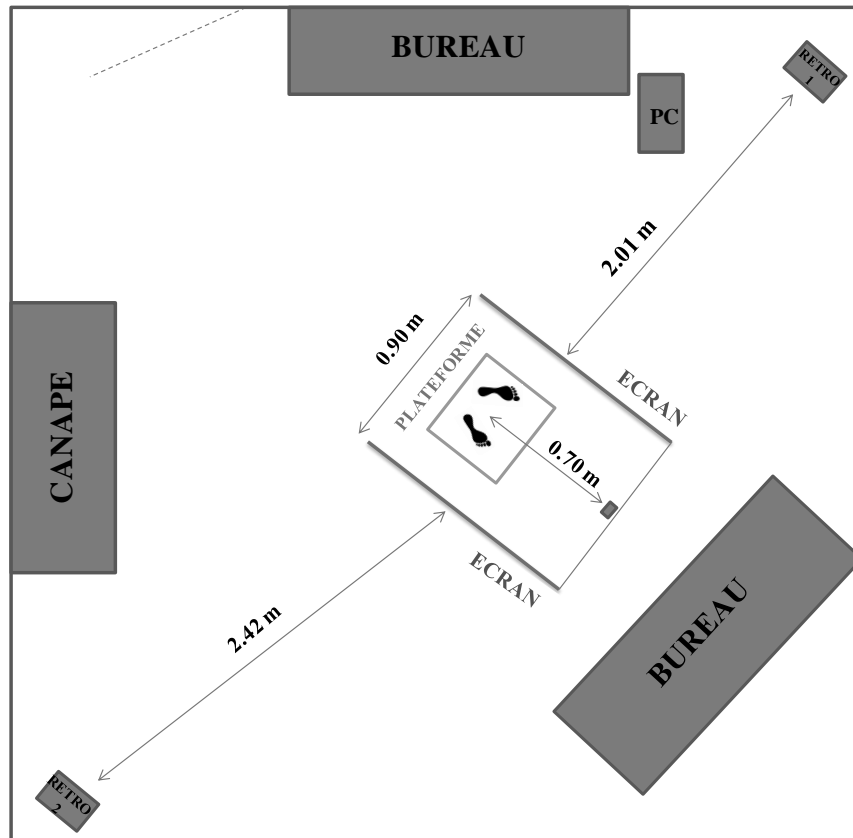


Figure 55. Schéma global du dispositif dans la salle d'expérimentation de la MSRH.

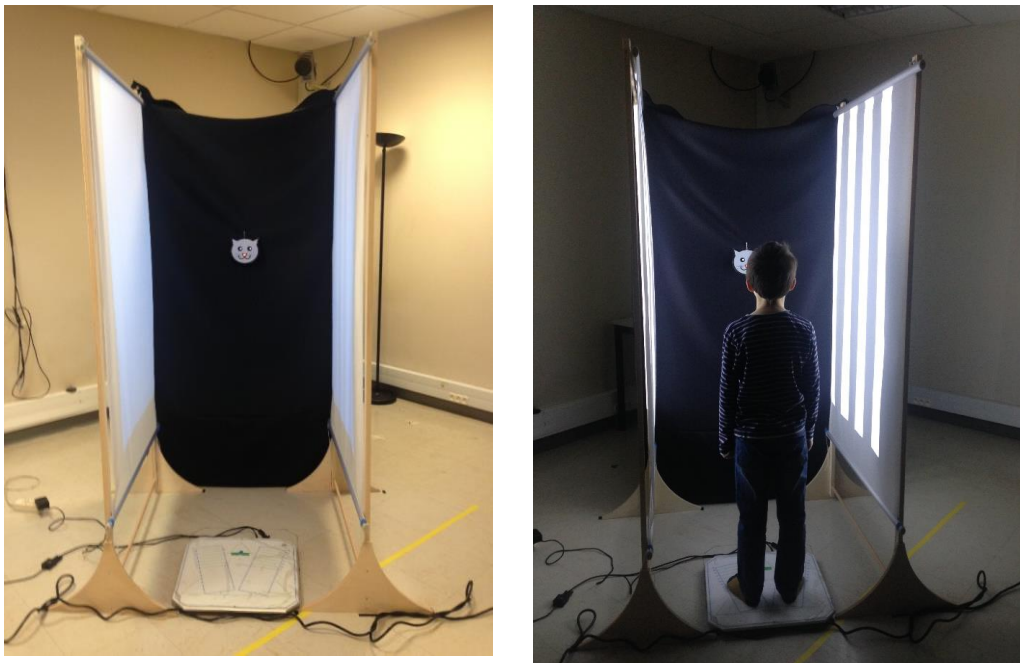


Figure 56. Photos d'une partie du dispositif comprenant la plateforme et la cabine d'affichage. La photo de droite illustre la participation d'un enfant. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

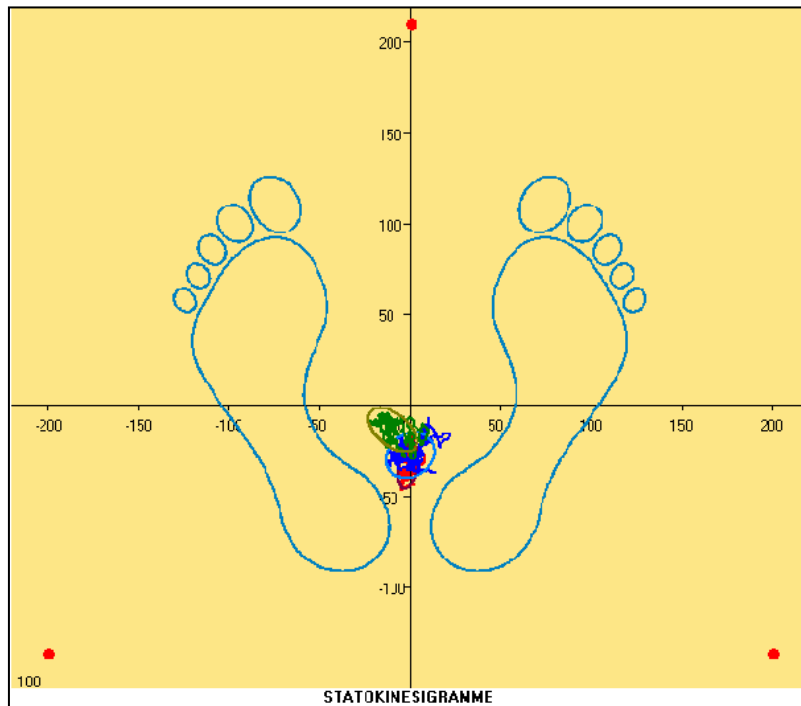


Figure 57. Exemple d'un graphique proposé par le logiciel Win Posture représentant trois mesures de posturographie d'un enfant. Rouge : condition « yeux bandés » ; Bleu : condition « bandes statiques » ; Vert : condition « bande dynamique ».

3.3. Procédure

Avant l'arrivée de la famille, une fiche « patient » était créée dans le logiciel *Win posture* en utilisant les numéros d'anonymat et la date de naissance. Suite à l'accueil de la famille, il était demandé, pour finir de compléter le dossier, la taille, le poids et la pointure. Si la taille et le poids n'étaient pas connus, les mesures étaient prises à l'aide d'une toise et d'une balance électronique. Avant de démarrer la tâche, il était demandé à l'enfant de retirer ses chaussures et de poser ses pieds dans les emplacements prévus de la plateforme, matérialisés par des rectangles bleus. Les consignes étaient ensuite données à l'enfant. Les mesures duraient 52 secondes, comprenant 51.2 secondes d'enregistrement. L'enfant était informé du début et de la fin de chaque mesure. Au total, quatre mesures étaient effectuées à la suite dans 4 conditions différentes et dans un ordre fixe pour tous les participants : yeux bandés (YF), yeux ouverts dans le noir (YON), yeux ouverts avec l'affichage de bandes lumineuses statiques (YO), yeux ouverts avec l'affichage de bandes dynamiques (FL). Lorsque l'enfant avait les yeux ouverts, il lui était demandé de regarder le nez du chat qui était allumé à la hauteur de ses yeux pour servir de point de fixation (Figure 56). L'ordre des conditions a été

construit dans l'objectif d'établir une progression dans les caractéristiques des informations visuelles disponibles.

Les consignes de la tâche étaient par les suivantes : *Cette activité ressemble au jeu de la statue mais tu seras tout le temps sur la plateforme ici dans la cabine. C'est cette plateforme qui nous dira si tu as bougé ou pas. Comme pour le jeu de la statue, il faudra être le plus immobile possible mais rester détendu(e). Pour cela tu dois garder les bras le long du corps, ne pas parler ou rigoler (cela te fait bouger). On va faire cela 4 fois et à chaque fois cela durera un peu moins d'une minute. Je te dirai « C'est parti » quand cela commence, et je te dirai « C'est fini » quand c'est fini. Tu es prêt(e) ? On y va. Je te laisse monter sur la plateforme.* Les caractéristiques des différentes conditions de la tâche étaient précisées aux enfants avant le début des mesures.

3.4. Choix des différentes conditions

Différentes conditions présentées précédemment étaient proposées lors de la tâche d'équilibre statique. La condition YF permettait d'étudier l'efficacité du contrôle postural lorsque l'enfant n'a pas accès aux informations visuelles et doit donc se baser sur la perception des informations proprioceptive et vestibulaire. La condition YO dans le noir s'est retrouvée, pour des questions techniques (lumière de veille des rétroprojecteurs), semblable à la condition YO avec les bandes statiques. En effet, dans ces deux conditions les repères visuels verticaux étaient accessibles. Par la suite, aucune différence statistique n'a été révélée entre ces deux conditions en termes de contrôle postural. La condition YO (bandes statiques) a donc été retenue comme condition de référence dans le sens où toutes les informations sensorielles étaient disponibles et non perturbées, et la condition YO dans le noir n'a pas été gardée dans la suite des analyses pour éviter que deux mesures s'effectuent dans des conditions sensorielles très similaires. Enfin, la condition FL avait pour objectif d'étudier l'impact d'une perturbation visuelle impliquant un conflit visuo-vestibulaire sur le contrôle postural.

3.5. Description des variables

Les variables dépendantes utilisées par la suite dans les analyses sont des mesures classiques stabilométriques du domaine temporel (moyenne quadratique des déplacements du CdP, vitesse de déplacement du CdP) et fréquentiel (dispersion du spectre des fréquences), mais aussi une mesure appelée « Sample Entropy » renvoyant à une analyse des séries temporelles du signal postural.

3.5.1. Variables dépendantes dans les domaines temporel et fréquentiel

Le logiciel Win Posture fournissait différentes mesures du domaine temporel comme la surface en mm² de l'ellipse contenant 95% des déplacements du Centre des Pressions (CdP) et la vitesse moyenne des déplacements du CdP en mm.s⁻¹ (notée par la suite « vitesse moyenne »). Cependant, le logiciel ne permettait pas de faire la distinction entre les déplacements dans la direction médio-latérale et ceux dans la direction antéro-postérieure. Par conséquent, d'autres mesures ont été calculées dans ces deux directions dans les domaines temporel et fréquentiel grâce à l'utilisation d'un programme MatLab s'appuyant sur les travaux de Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, et Myklebust (1996), adapté aux fichiers de données générés par le logiciel Win Postures par Emma Dupuy (COMETE, UniCaen).

Dans le domaine temporel, la moyenne quadratique des déplacements du CdP (notée par la suite RMS pour Root Mean Square) permet de mieux prendre en compte des phénomènes présentant un caractère sinusoïdal avec alternance de valeurs négatives et positives (Dusing et al., 2014). Cette mesure renseigne sur la variabilité spatiale du contrôle postural : plus elle est élevée, plus le contrôle postural est variable dans l'espace (Dusing et al., 2014). Toujours dans le domaine temporel, la vitesse moyenne est une mesure qui renseigne sur l'efficacité du contrôle postural : plus elle est élevée, moins le contrôle postural est efficace (Jeka, Kiemel, Creath, Horak, & Peterka, 2004).

La fréquence renvoie au nombre de fois où un événement se produit par seconde (unité : Herz, notée Hz). Dans le cas du contrôle postural, la fréquence correspond au nombre d'oscillations posturales (aller-retour dans la direction considérée) observées par seconde. Dans une période de temps définie, différentes fréquences d'oscillations posturales pourront être mesurées. L'échantillon de ces fréquences d'oscillation permet de constituer un spectre des puissances fréquentielles qui sera caractérisé par sa dispersion fréquentielle (sans unité). Cette mesure donne une indication de la variabilité des fréquences mesurées, et par

conséquent du caractère couteux du contrôle postural. Elle est de zéro lorsque l'addition des signaux des fréquences forment une parfaite sinusoïde, et augmente au maximum jusqu'à 1 (Bucci et al., 2015; Gaertner et al., 2013; Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996).

3.5.2. La Sample Entropy

Une autre mesure possible du contrôle postural porte sur les caractéristiques des séries temporelles du signal postural pour observer la complexité du contrôle postural. La complexité est une mesure de la variabilité des stratégies utilisées pour contrôler la posture, ou de la variabilité du contrôle postural lui-même (Dusing, 2016). Une variabilité optimale traduire une sélection appropriée des stratégies de contrôle postural. La « Sample Entropy » est un algorithme mathématique fournissant un indice qui quantifie la régularité d'une série temporelle d'un signal postural. Cette indice a été introduit par Richman et Moorman (2000) et sa valeur augmente lorsque l'irrégularité des séries temporelles augmente (Ramdani et al., 2011). Les valeurs de Sample Entropy ont été calculées pour chaque participant dans les différentes conditions, et dans les directions médio-latérale (ML) et antéro-postérieure (AP) grâce aux coordonnées du CdP en X et en Y fournies par le logiciel avec une fréquence d'échantillonnage de 40 Hz.

Les calculs des Sample Entropy (Real et Surrogate) ont été effectués grâce à l'utilisation d'un programme MatLab, adapté aux fichiers de données générés par le logiciel Win posture par Emma Dupuy (COMETE, UniCaen). Les paramètres de calcul utilisés étaient les mêmes que ceux de l'étude de Dusing et al. (2014), soit $r = 0.2$ (distance de tolérance) et $m = 2$ (nombre de vecteurs). Une première étape consistait à vérifier que les séries temporelles avaient bien une dynamique non linéaire. Pour cela, les valeurs de Sample Entropy (Real) pour une condition, et pour une direction précise, étaient comparées aux Sample Entropy de séries temporelles de substitut (Surrogate). Ces séries de substituts étaient générées à partir de la même série temporelle de telle sorte que leurs variabilités temporelles suivent une distribution gaussienne (méthode AAF). Plusieurs séries temporelles de substitut étaient construites, et la série temporelle de substitut gardée était celle qui avait la plus petite valeur de Sample Entropy (Surrogate). Pour confirmer la dynamique non linéaire de la série temporelle étudiée, les Sample Entropy Real devaient être significativement différentes des Sample Entropy Surrogate.

4. Résultats

4.1. Analyses des mesures dans les domaines temporel et fréquentiel

Une fois les conditions d'applications vérifiées (Chapitre VI – 2.7), une ANOVA mixte (variable indépendante inter-sujet : Groupe ; variable indépendante à mesures répétées : Conditions) a été menée pour les variables RMS, vitesse moyenne, et dispersion fréquentielle. La variable Groupe avait deux modalités : nés à terme (NT) vs. nés prématurés (PT). La variable Condition avait trois modalités : YF vs. YO vs. FL. L'ensemble des analyses ont été réalisées pour les deux directions ML et AP. Les groupes étant significativement différents pour le score du statut socioéconomique des responsables légaux (noté par la suite « score socioéconomique »), l'effet de cette variable a aussi été contrôlé en l'introduisant dans un deuxième temps en covariant dans les analyses.

4.1.1. Analyse de la RMS

Dans la direction ML, l'analyse statistique a montré un effet significatif de la Condition sur la RMS (mm), $F(2,76) = 28.971$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .433$ ($M_{YF} = 2.987$, $ET_{YF} = 1.121$; $M_{YO} = 2.02$, $ET_{YO} = 1.672$; $M_{FL} = 3.392$, $ET_{FL} = 1.309$) (Figure 58). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 26.50$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .405$, la RMS étant plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. Une autre différence significative a été montrée entre les conditions YO et FL, $F(1,39) = 70.48$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .644$, la RMS étant plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

L'analyse statistique n'a pas mis en évidence d'effet du Groupe sur la RMS, $F(1,38) = 3.158$, $p = .084$, $\eta_p^2 = .077$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 2.497$; $ET = 0.854$) et les enfants nés prématurés ($M = 3.108$; $ET = 1.210$). Aucun effet d'interaction n'a été révélé par l'analyse entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(2,76) = 0.179$, $p = .490$, $\eta_p^2 = .019$. Le score socioéconomique, ajouté dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la RMS, $F(1,37) = 1.509$, $p = .227$, $\eta_p^2 = .039$.

Dans la direction AP, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité des données. Les analyses ont montré un effet

significatif de la Condition sur la RMS, $F(1.372, 52.146) = 72.221$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .655$ ($M_{YF} = 4.591$, $ET_{YF} = 1.196$; $M_{YO} = 2.354$, $ET_{YO} = 0.887$; $M_{FL} = 6.657$, $ET_{FL} = 2.574$) (Figure 58). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 125.7$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .763$, la RMS étant plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. Une autre différence significative a été montrée entre les conditions YO et FL, $F(1,39) = 112.3$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .742$, la RMS étant plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

L'analyse statistique n'a pas mis en évidence d'effet du Groupe sur la RMS, $F(1,38) = 1.048$, $p = .313$, $\eta_p^2 = .027$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 4.390$; $ET = 1.063$) et les enfants nés prématurés ($M = 4.679$; $ET = 1.064$). Aucun effet d'interaction n'a été révélé par l'analyse entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(1.372, 52.146) = 0.120$, $p = .809$, $\eta_p^2 = .003$. Le score socioéconomique, ajouté dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la RMS, $F(1,37) = 0.063$, $p = .804$, $\eta_p^2 = .002$.

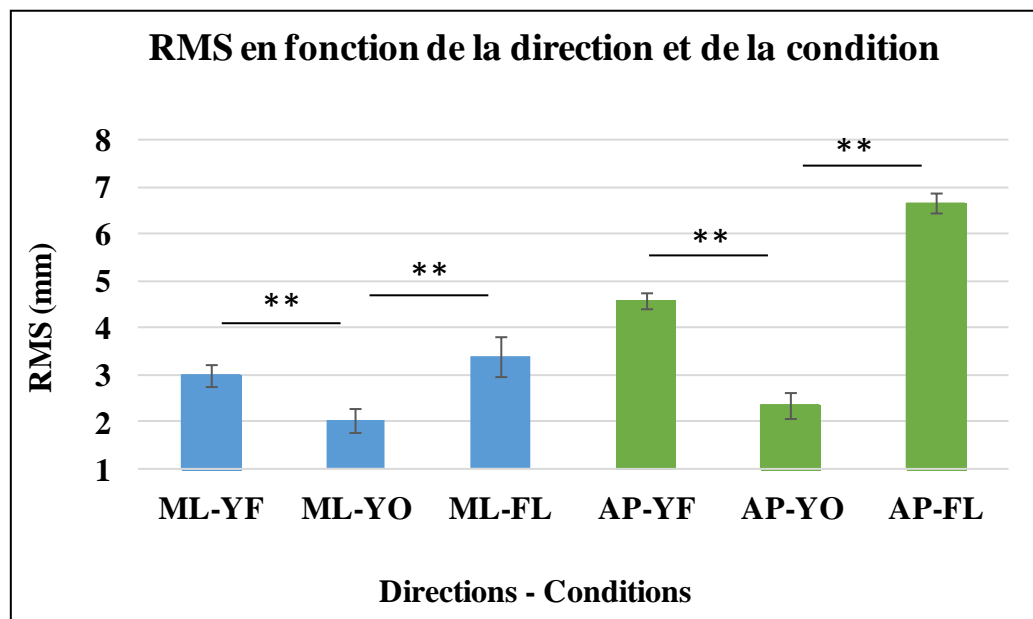


Figure 58. Histogramme des RMS en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

4.1.2. Analyse de la Vitesse moyenne

Dans la direction ML, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité des données. Les résultats n'ont pas révélé d'effet de la Condition sur la vitesse moyenne (mm.s^{-1}), $F(1,354, 51.464) = 0.010$, $p = .963$, $\eta^2_p = .000$, qui était comparable dans la condition YF ($M = 6.302$; $ET = 2.252$), dans la condition YO ($M = 6.379$; $ET = 5.015$), et dans la condition FL ($M = 6.319$; $ET = 1.902$) (Figure 60).

L'analyse statistique a montré un effet significatif du Groupe sur la vitesse moyenne, $F(1,38) = 4.136$, $p < .05$, $\eta^2_p = .098$, qui était plus élevée chez les enfants nés prématurés ($M = 7.160$; $ET = 3.505$) que chez les enfants nés à terme ($M = 5.507$; $ET = 1.344$).

Les résultats ont aussi révélé une interaction significative entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(1,354,51.464) = 4.051$, $p < .05$, $\eta^2_p = .096$. Une analyse de comparaisons planifiées pour chaque condition n'a pas mis en évidence d'effet du Groupe dans la condition YF, $F(1,38) = 0.235$, $p = .630$, $\eta^2_p = .006$, la vitesse moyenne était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 6.09$; $ET = 2.07$) et les enfants nés prématurés ($M = 6.51$; $ET = 2.46$). L'analyse a montré un effet significatif du Groupe dans la condition FL, $F(1,38) = 5.795$, $p < .05$, $\eta^2_p = .132$, la vitesse moyenne était plus élevée chez les enfants nés prématurés ($M = 6.98$; $ET = 2.26$) que chez les enfants nés à terme ($M = 5.66$; $ET = 1.17$). L'analyse a aussi révélé un effet significatif du Groupe dans la condition YO, $F(1,38) = 4.973$, $p < .05$, $\eta^2_p = .116$, la vitesse moyenne était plus élevée chez les enfants nés prématurés ($M = 7.99$; $ET = 6.56$) que chez les enfants nés à terme ($M = 4.77$; $ET = 1.76$) (Figure 59). Le score socioéconomique, ajoutée dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la vitesse moyenne, $F(1,37) = 0.101$, $p = .753$, $\eta^2_p = .003$.

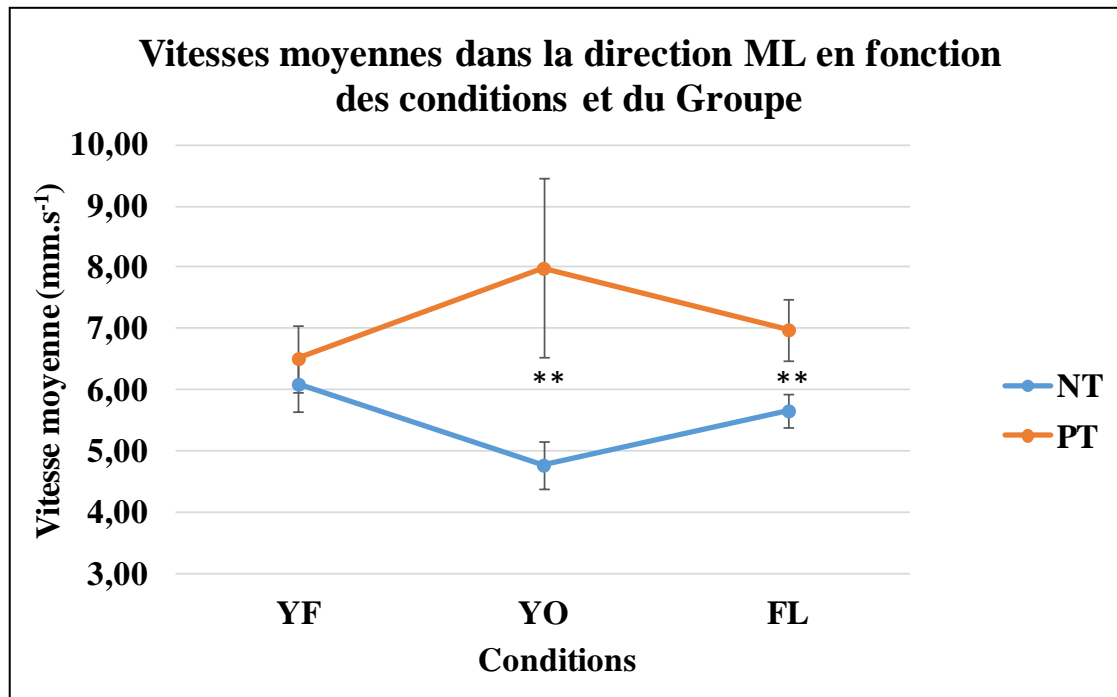


Figure 59. Courbes des vitesses moyennes dans la direction ML en fonction des conditions et du groupe. Les valeurs des vitesses moyennes sont indiquées sur le graphique. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre les groupes.

Dans la direction AP, les analyses ont montré un effet significatif de la Condition sur la vitesse moyenne (mm.s^{-1}), $F(2,76) = 21.841$, $p < .05$, $\eta^2_p = .365$ ($M_{YF} = 9.593$, $ET_{YF} = 2.360$; $M_{YO} = 8.592$, $ET_{YO} = 2.413$; $M_{FL} = 11.334$, $ET_{FL} = 3.012$) (Figure 60). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 7.511$, $p < .05$, $\eta^2_p = .161$, la vitesse moyenne était plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. L'analyse a aussi montré une différence significative entre les conditions YO et FL, $F(1,39) = 34.16$, $p < .05$, $\eta^2_p = .467$, la vitesse moyenne était plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

Les résultats n'ont pas mis en évidence d'effet du Groupe sur la vitesse moyenne, $F(1,38) = 0.543$, $p = .466$, $\eta^2_p = .014$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 10.044$; $ET = 2.066$) et les enfants nés prématurés ($M = 9.635$; $ET = 2.078$). Aucun effet d'interaction entre la variable Groupe et la variable Condition n'a été montré, $F(2,76) = 1.195$, $p = .308$, $\eta^2_p = .030$. Le score socioéconomique, ajoutée dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la vitesse moyenne, $F(1,37) = 3.380$, $p = .074$, $\eta^2_p = .084$.

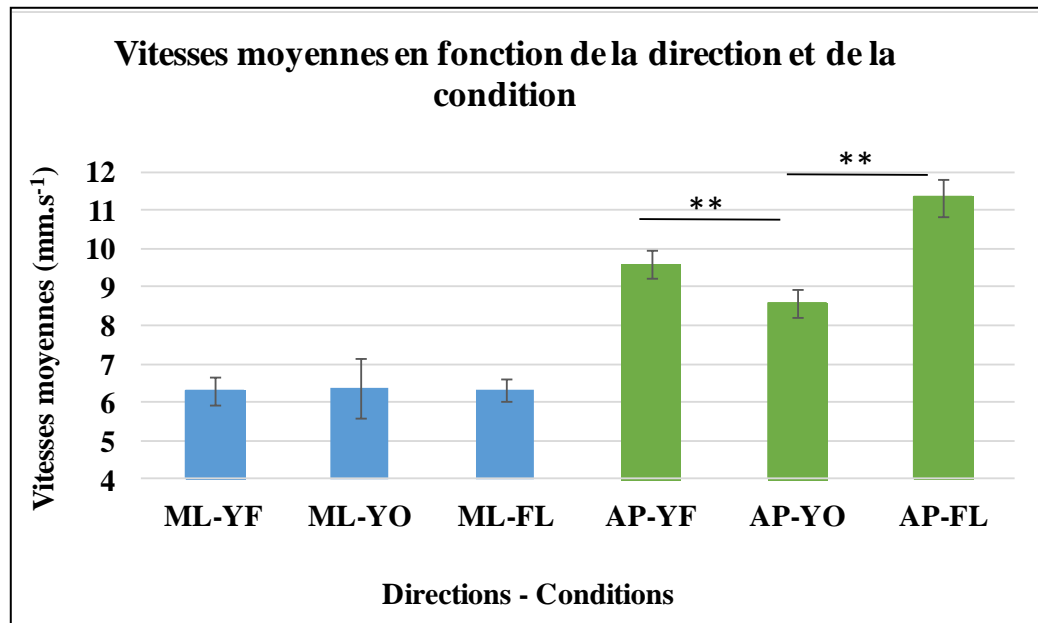


Figure 60. Histogramme des vitesses moyennes en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre les conditions.

4.1.3. Analyse de la Dispersion fréquentielle

Dans la direction ML, les résultats ont révélé un effet significatif de la Condition sur la dispersion fréquentielle, $F(2,76) = 75.373$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .665$ ($M_{YF} = 0.755$, $ET_{YF} = 0.076$; $M_{YO} = 0.627$, $ET_{YO} = 0.073$; $M_{FL} = 0.784$, $ET_{FL} = 0.064$) (Figure 61). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 90.86$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .700$, la dispersion fréquentielle était plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. Une différence significative a aussi été montrée entre les conditions YO et FL, $F(1,39) = 103.1$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .726$, la dispersion fréquentielle était plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

Les résultats n'ont pas mis en évidence d'effet du Groupe sur la dispersion fréquentielle, $F(1,38) = 0.374$, $p = .544$, $\eta_p^2 = .010$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.717$; $ET = 0.081$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.727$; $ET = 0.062$). Enfin, les résultats n'ont pas non plus révélé d'effet d'interaction entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(2,76) = 0.099$, $p = .906$, $\eta_p^2 = .003$. Le score socioéconomique, ajouté dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la dispersion fréquentielle, $F(1,37) = 2.77 \cdot 10^{-4}$, $p = .987$, $\eta_p^2 = .000$.

Dans la direction AP, une correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée suite à la détection d'un problème de sphéricité des données. Les résultats ont révélé un effet significatif de la Condition sur la dispersion fréquentielle, $F(1.429, 63.398) = 172.507$, $p < .05$, $\eta^2_p = .819$ ($M_{YF} = 0.797$, $ET_{YF} = 0.050$; $M_{YO} = 0.587$, $ET_{YO} = 0.092$; $M_{FL} = 0.834$, $ET_{FL} = 0.055$) (Figure 61). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1, 39) = 199.9$, $p < .05$, $\eta^2_p = .837$, la dispersion fréquentielle était plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. L'analyse a aussi montré une différence significative entre les conditions YO et FL, $F(1, 39) = 227.5$, $p < .05$, $\eta^2_p = .854$, la dispersion fréquentielle était plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

Les résultats n'ont pas mis en exergue d'effet du Groupe sur la dispersion fréquentielle, $F(1, 38) = 0.213$, $p = .647$, $\eta^2_p = .006$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.737$; $ET = 0.068$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.741$; $ET = 0.064$). Enfin, les résultats n'ont pas non plus révélé d'effet d'interaction entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(1.668, 63.398) = 0.218$, $p = .764$, $\eta^2_p = .006$. Le score socioéconomique, ajouté dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet sur la dispersion fréquentielle, $F(1, 37) = 0.887$, $p = .352$, $\eta^2_p = .023$.

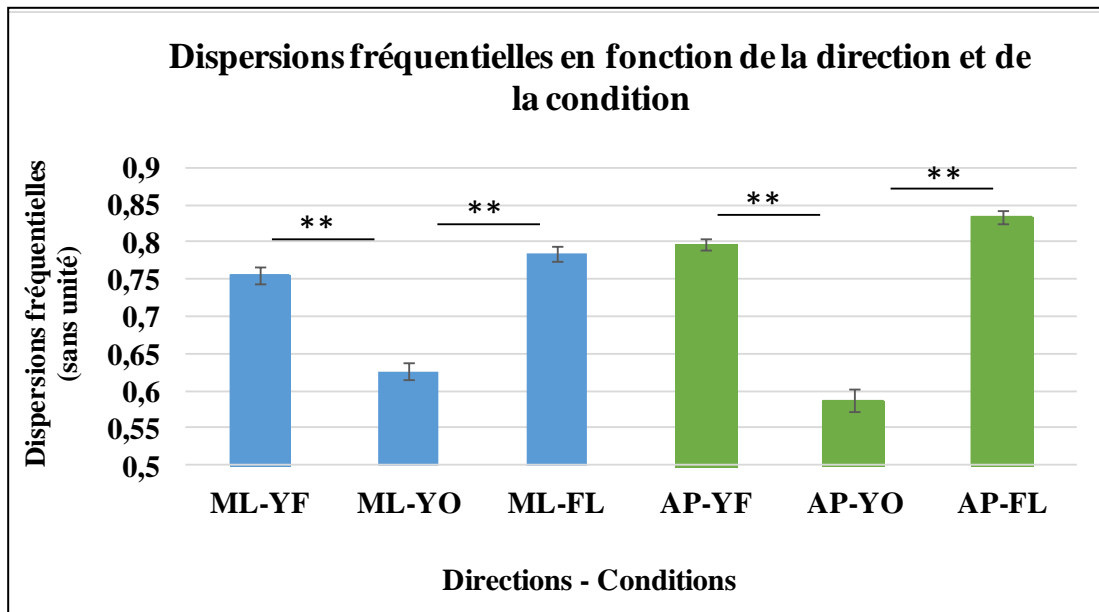


Figure 61. Histogramme des dispersions fréquentielles en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à +/- 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

4.2. Analyse de la Sample Entropy

Dans une première étape, pour confirmer les différences significatives entre les Sample Entropy Surrogate et les Sample Entropy Real, un test de Wilcoxon a été utilisé. Dans une deuxième étape, les valeurs de Sample Entropy (Real) étaient analysées par le biais d'une ANOVA mixte (variable indépendante à mesures répétées : Condition, variable indépendante inter-sujet : Groupe) pour les deux directions ML et AP. L'impact du score socioéconomique a été examiné en l'introduisant en covariant dans l'analyse dans un second temps.

Dans la direction ML, les tests de Wilcoxon ont confirmé que les Sample Entropy Real étaient significativement différentes des Sample Entropy Surrogate pour l'ensemble des conditions. Les résultats de l'analyse de variance ont révélé un effet significatif de la Condition, $F(2,76) = 202.371$, $p < .05$, $\eta^2_p = .842$ ($M_{YF} = 0.222$, $ET_{YF} = 0.073$; $M_{YO} = 0.182$, $ET_{YO} = 0.064$; $M_{FL} = 0.009$, $ET_{FL} = 0.003$) (Figure 62). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 8.095$, $p < .05$, $\eta^2_p = .172$, la Sample Entropy était plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. L'analyse a aussi montré une différence significative entre les conditions YO et FL,

$F(1,39) = 301.3$, $p < .05$, $\eta^2_p = .885$, la Sample Entropy était plus élevée dans la condition FL que dans la condition YO.

Les résultats n'ont pas mis en exergue d'effet du Groupe, $F(1,38) = 0.107$, $p = .745$, $\eta^2_p = .003$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.137$; $ET = 0.052$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.139$; $ET = 0.041$). Enfin, les résultats n'ont pas non plus révélé d'effet d'interaction entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(2,76) = 0.991$, $p = .376$, $\eta^2_p = .025$. Le score socioéconomique, ajoutée dans un deuxième temps en covariant, avait un effet significatif sur la variable Sample Entropy, $F(1,37) = 4.191$, $p < .05$, $\eta^2_p = .102$. L'étude de la distribution de la Sample Entropy en fonction du score économique montre que la Sample Entropy augmente lorsque le score socioéconomique augmente.

Dans la direction AP, les tests de Wilcoxon ont confirmé que les Sample Entropy Real étaient significativement différentes des Sample Entropy Surrogate dans toutes les conditions. Les résultats de l'analyse de variance ont révélé un effet significatif de la Condition sur la Sample Entropy, $F(2,76) = 4.096$, $p < .05$, $\eta^2_p = .097$ ($M_{YF} = 0.216$, $ET_{YF} = 0.065$; $M_{YO} = 0.189$, $ET_{YO} = 0.069$; $M_{FL} = 0.181$, $ET_{FL} = 0.071$) (Figure 62). Les analyses de comparaisons planifiées entre la condition contrôle YO et les deux autres conditions ont mis en évidence une différence significative entre les conditions YO et YF, $F(1,39) = 5.271$, $p < .05$, $\eta^2_p = .119$, la Sample Entropy était plus élevée dans la condition YF que dans la condition YO. L'analyse n'a pas mis en évidence pas de différence entre les conditions YO et FL, $F(1,39) = 0.284$, $p = .597$, $\eta^2_p = .007$, la Sample Entropy était comparable dans ces deux conditions.

Les résultats n'ont pas mis en exergue d'effet du Groupe sur la Sample Entropy, $F(1,38) = 2.515$, $p = .121$, $\eta^2_p = .062$, qui était comparable chez les enfants nés à terme ($M = 0.207$; $ET = 0.072$) et les enfants nés prématurés ($M = 0.183$; $ET = 0.063$). Les résultats n'ont pas non plus révélé d'effet d'interaction entre la variable Groupe et la variable Condition, $F(2,76) = 0.485$, $p = .618$, $\eta^2_p = .013$. Le score socioéconomique, ajoutée dans un deuxième temps en covariant, n'avait pas d'effet significatif sur la Sample Entropy, $F(1,37) = 1.818$, $p = .186$, $\eta^2_p = .047$.

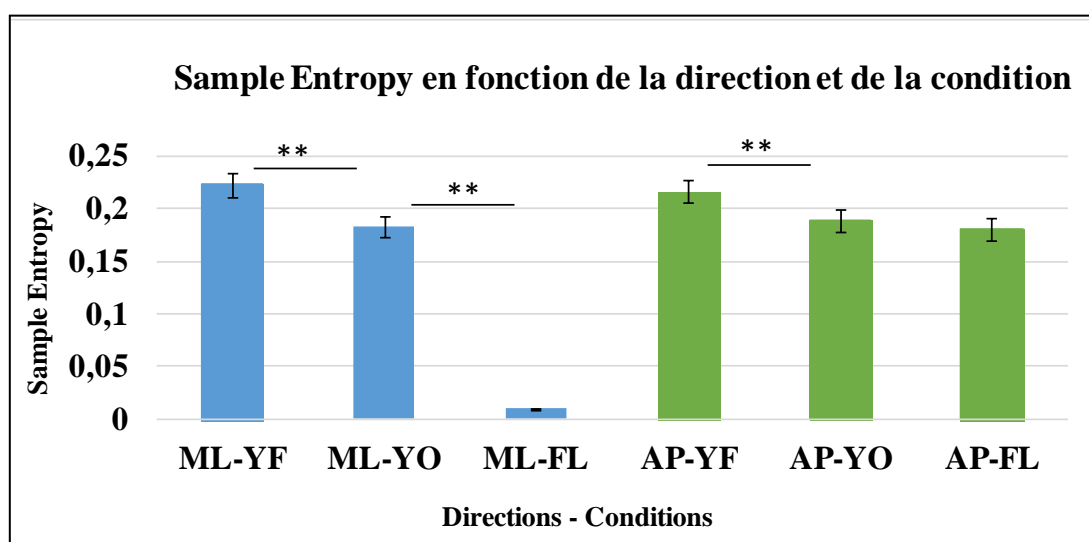


Figure 62. Histogramme des Sample Entropy en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à +/- 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

4.3. Analyses des liens entre une mesure de l'efficacité du contrôle postural et des facteurs de risque ou de protection périnataux

Des analyses de régression spécifiques au groupe des enfants nés prématurés ont été effectuées afin d'étudier les liens entre des facteurs de risque ou de protection et le contrôle postural dans la tâche d'équilibre. La vitesse moyenne dans les deux directions étudiées était la mesure retenue car elle représente l'efficacité du contrôle postural. Les résultats, synthétisés dans le Tableau 21, n'ont pas montré de lien significatif entre les différentes variables.

Tableau 21. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et les performances de contrôle postural dans la tâche d'équilibre statique. Pour chaque case les degrés de libertés sont de (1,18).

	Vitesse - Direction ML	Vitesse - Direction AP
Sessions peau-à-peau	$F = 0.257, p = .618,$ $R^2_{ajusté} = -.041$	$F = 0.210, p = .653,$ $R^2_{ajusté} = -.043$
Age gestationnel (SA)	$F = 2.677, p = .119,$ $R^2_{ajusté} = .081$	$F = 0.202, p = .659,$ $R^2_{ajusté} = -.044$
Heures de ventilation assistée	$F = 0.248, p = .624,$ $R^2_{ajusté} = -.041$	$F = 0.004, p = .947,$ $R^2_{ajusté} = -.055$

4.4. Analyses des liens entre une mesure de l'efficacité du contrôle postural dans la tâche d'équilibre statique et les performances aux tests standardisés

Des analyses de régression linéaire ont été effectuées pour étudier les liens entre les performances observées dans les tests standardisés évaluant la motricité globale et l'efficacité du contrôle postural dans la tâche proposée. La vitesse moyenne dans les deux directions étudiées était la mesure retenue. L'ensemble des résultats sont présentés dans le Tableau 22. Aucun lien significatif n'a été mis en évidence entre les variables.

Tableau 22. Résultats des analyses de régression linéaire entre les performances aux tests standardisés et les performances de contrôle postural dans une tâche d'équilibre statique. Pour chaque case les degrés de libertés sont de (1,38).

	Vitesse - Direction ML	Vitesse - Direction AP
Équilibre une jambe (note standard)	$F = 0.045, p = .833,$ $R^2_{ajusté} = -.025$	$F = 0.542, p = .466,$ $R^2_{ajusté} = -.012$
Marcher en avant T/P (note standard)	$F = 0.480, p = .493,$ $R^2_{ajusté} = -.014$	$F = 0.050, p = .824,$ $R^2_{ajusté} = -.025$
Sauter à cloche-pied (note standard)	$F = 0.053, p = .819,$ $R^2_{ajusté} = -.025$	$F = 1.491, p = .230,$ $R^2_{ajusté} = .012$

5. Discussion

5.1. Prématuration et tests standardisés

Dans le protocole de ce travail de thèse, les deux groupes d'enfants âgés de 8 ans ont réalisé des tests standardisés évaluant les habiletés de contrôle postural aux travers d'activités impliquant le maintien de l'équilibre. Les scores de la M-ABC2 aux sous-tests du domaine « Équilibre » et le score global de ce même domaine n'ont pas révélé de différence entre les deux groupes d'enfant. Ce résultat confirme donc ceux de De Rose et al. (2013) et Pietz et al. (2004) qui n'avaient pas mis en évidence de différence dans les habiletés de contrôle postural évaluées par des tests standardisés entre des enfants nés prématurés et des enfants nés à terme, tous âgés de 3 à 7 ans et sans trouble neurologique. Par ailleurs, aucun lien statistique n'a été

mis en évidence entre les scores aux tests standardisés et l'efficacité du contrôle postural mesuré dans la tâche d'équilibre statique.

5.2. Effet de la prématurité sur le développement du contrôle postural dans une tâche d'équilibre statique

L'hypothèse avancée était que, malgré l'absence de difficulté motrice globale, des analyses innovantes pourraient révéler des différences dans le contrôle postural chez les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental par rapport aux enfants nés à terme en absence de vision ou avec des stimulations visuelles induisant un conflit visuo-vestibulaire. Pour tester cette hypothèse, différentes mesures stabilométriques dans les domaines temporel et fréquentiel, ainsi qu'une analyse non linéaire des séries temporelles du signal postural, ont été effectuées lors d'une tâche d'équilibre statique proposée aux deux groupes d'enfants dans trois conditions : yeux fermés, yeux ouverts avec des informations visuelles non modifiées, yeux ouverts avec un flux visuel.

Pour la quasi-totalité des variables dépendantes, il n'est pas apparu de différence entre les deux groupes, et ceci quelle que soit la condition de vision, en termes de variabilité spatiale du contrôle postural (RMS), de coût du contrôle postural (dispersion fréquentielle) et de régularité de l'organisation temporelle du signal postural (Sample Entropy). Ceci est contradictoire avec les études de Bucci et al. (2015, 2017) avec des enfants de 3 à 6 ans, et de Dusing et al. (2014) chez des nourrissons, mais ces dernières n'avaient pas exclu les participants avec des lésions neurologiques majeures. Ces différences entre les résultats obtenus et ceux des études citées précédemment soulignent l'importance du statut neurologique dans le développement à long terme du contrôle postural chez les enfants nés prématurés. Cependant, au regard des différences d'âge entre les participants des études de Bucci et al. (2015, 2017) et de Dusing et al. (2014) et les participants de l'étude menée dans ce travail, un facteur maturationnel ne peut pas être exclu.

Il faut néanmoins remarquer que les résultats ont révélé que les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental avaient un contrôle postural moins efficace que les enfants nés à terme dans la direction médio-latérale au niveau de la vitesse de déplacement du CdP, et ceci spécifiquement dans les conditions « yeux ouverts » et « flux visuel ». Ces résultats mettent en évidence plusieurs éléments importants. Tout d'abord, lorsqu'aucune information visuelle n'est disponible, le contrôle postural des enfants nés prématurés est aussi efficace que celui des enfants nés à terme. Les enfants nés

prématurés âgés de 8 ans sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental sont donc autant capables que les enfants nés à terme de s'appuyer sur les informations proprioceptives et vestibulaires pour contrôler leur posture. Cette observation confirme le résultat de Bucci et al. (2017) qui n'avaient pas mis en évidence de différence dans l'efficacité du contrôle postural entre des enfants nés prématurés et des enfants nés à terme, tous âgés de 3 à 6 ans, lorsque les informations visuelles n'étaient pas disponibles.

Lorsque les informations visuelles sont disponibles, le contrôle postural des enfants nés prématurés est moins efficace que celui des enfants nés à terme. Ce résultat inattendu ne peut pas être comparé à des recherches antérieures puisque la condition « yeux ouverts » n'était pas effectuée par les enfants dans ces dernières. Une interprétation possible de cette observation pourrait être que les informations visuelles permettent aux enfants nés à terme de mieux stabiliser leur posture, tandis que les enfants nés prématurés auraient plus de difficulté à prendre en compte l'ensemble des informations sensorielles disponibles (visuelles, proprioceptives et vestibulaires). Enfin, lorsque la tâche d'équilibre statique est couplée à une stimulation visuelle provoquant un conflit visuo-vestibulaire, le contrôle postural des enfants nés prématurés est également moins efficace que celui des enfants nés à terme. Cette observation confirme les résultats de Bucci et al. (2015, 2017) qui avaient mis en évidence des différences d'efficacité du contrôle postural en défaveur des enfants nés prématurés âgés de 3 à 6 ans lorsqu'une stimulation optocinétique était proposée. Une interprétation possible de ces résultats serait que les enfants nés prématurés auraient plus de difficulté à contrôler leur posture lorsque les couplages perception-action impliquent des informations visuelles et vestibulaires contradictoires et que le contrôle de la posture nécessite donc un ajustement de la prise en compte de ces informations sensorielles. Un lien pourrait aussi être fait avec le fonctionnement plus lent du système vestibulaire qui avait été observé par Eshaghi, Jafari, Shaibanizadeh, Jalaie, et Ghaseminejad (2014) chez des enfants nés prématurés âgés de 5 à 6 ans en comparaison d'enfants nés à terme du même âge.

5.3. Influence des informations visuelles sur le contrôle postural des enfants âgés de 8 ans

Une hypothèse avait été avancée quant à un effet perturbateur sur le contrôle postural de la condition sans information visuelle et de la condition avec une stimulation visuelle associée à un conflit vestibulaire pour l'ensemble des enfants.

5.3.1. Effets de l'absence des informations visuelles

Les résultats ont mis en évidence un effet de l'absence des informations visuelles sur la variabilité spatiale du contrôle postural. Un effet similaire est observé sur le coût du contrôle postural (dispersion fréquentielle), plus important pour les enfants en absence des informations visuelles. De plus, la régularité de l'organisation temporelle du signal postural diminuait en absence des informations visuelles. Les résultats ont aussi montré que l'efficacité du contrôle postural diminuait en absence des informations visuelles chez les enfants âgés de 8 ans, nés prématurés ou non. Les mesures de Bucci et al. (2017) avaient montré que la vitesse moyenne de déplacement du CdP était d'environ 18 mm.s^{-1} chez des enfants âgés de 3 à 6 ans (âge moyen de 5.38 ans) dans la condition où ils n'avaient pas accès aux informations visuelles. Dans la condition comparable de cette présente étude, les enfants âgés de 8 ans avaient une vitesse de déplacement du CdP de 6.30 mm.s^{-1} dans la direction médio-latérale et de 9.59 mm.s^{-1} dans la direction antéro-postérieure. Le logiciel associé à la plateforme indiquait une vitesse moyenne de déplacement du CdP de 13.29 mm.s^{-1} . Cette différence entre les enfants de 3 à 6 ans et les enfants de 8 ans paraît cohérente avec une évolution développementale améliorant le contrôle postural.

5.3.2. Effets d'un conflit visuo-vestibulaire

Les résultats ont aussi révélé un effet de la stimulation visuelle, provoquant un conflit visuo-vestibulaire, sur la variabilité spatiale du contrôle postural qui était plus importante dans la condition « flux visuel » que dans la condition « yeux ouverts », et ceci dans les directions antéro-postérieure et médio-latérale. Un effet similaire est observé sur la dispersion fréquentielle, plus importante pour les enfants lors de la stimulation visuelle. De plus, la régularité de l'organisation temporelle du signal postural diminuait lors de la présentation du flux visuel bilatéral dans la direction médio-latérale. Les résultats ont aussi montré que l'efficacité du contrôle postural diminuait lors de la stimulation visuelle. Les valeurs de la vitesse moyenne de déplacement du CdP, représentant l'efficacité posturale, n'étaient cependant pas comparables avec celles obtenues de Bucci et al. (2015, 2017) et Gaertner et al. (2013) car dans ces études les mesures ont été effectuées lors d'une stimulation visuelle ayant des caractéristiques très différentes (flux visuel optocinétique central). L'ensemble de ces résultats ont confirmé que la stimulation visuelle, provoquant un conflit visuo-vestibulaire, perturbait le contrôle postural des enfants de 8 ans, nés prématurés ou non, et qu'il était donc

plus difficile pour eux de contrôler leur posture lorsque les systèmes visuel et vestibulaire véhiculaient des informations contradictoires qui devaient être ajustées.

5.4. Effets des facteurs intra-individuel sur le contrôle postural

Au regard de la différence significative entre les deux groupes d'enfants pour les scores associés au niveau socio-économique de la famille, ces derniers ont été pris en compte dans les analyses. Les résultats ont mis en évidence un effet significatif du niveau socioéconomique sur la variabilité de l'organisation temporelle du contrôle postural dans la direction médio-latérale. Dans la littérature la situation socioéconomique est présentée comme un facteur de risque à l'établissement de retard du développement (e.g. Potijk, Kerstjens, Bos, Reijneveld, & de Winter, 2013). Même si le résultat observé pour cette mesure précise est difficile à expliquer, il montre que le niveau socio-économique pourrait être un indicateur à prendre en compte dans les recherches portant sur le développement du contrôle postural des enfants nés prématurés.

Dans le cadre d'une naissance prématurée, l'hypothèse d'un effet de facteurs de risque ou de protection, en lien avec des mesures périnatales, sur le développement à long terme des enfants nés prématurés avait été soulevée (Fily et al., 2006). Parmi ces facteurs avaient été retenus le nombre de sessions de peau-à-peau, l'âge gestationnel et le nombre d'heures de ventilation assistées. Les analyses spécifiquement menées pour le groupe des enfants nés prématurés n'ont révélé aucun lien significatif entre ces facteurs et les habiletés de contrôle postural dans la tâche d'équilibre statique. Cependant, on ne peut exclure que ce facteur ait un effet bénéfique sur le développement perceptivo-moteur qui ne soit pas détectable à long terme par une analyse telle que celle réalisée dans cette étude.

6. Perspectives

L'hypothèse avancée concernant les effets de la prématurité à long terme sur le contrôle postural n'a été vérifiée que pour une seule mesure. Cependant ce résultat n'est pas négligeable et pourrait être complété par d'autres mesures pour approfondir l'étude, dans le contexte d'une naissance prématurée, des caractéristiques des couplages perception-action dans une tâche d'équilibre impliquant la perception d'informations multisensorielles.

Une étude du couplage temporel entre la stimulation visuelle et la réponse posturale pourrait aussi apporter d'autres informations pertinentes sur l'effet à long terme de la prématurité sur les couplages perception-action dans le contexte d'une tâche posturale. En effet, dans son travail de thèse, Morgane David (2016) a présenté un flux optique bilatéral antéro-postérieur à des nourrissons nés prématurés (29 à 35 SA), d'environ 3 mois d'âge corrigé sans trouble neurologique, sensoriel ou moteur, placés en position assise. Les résultats n'ont pas mis en évidence de lien entre la temporalité de la réponse et la vitesse du flux chez les nourrissons nés prématurés contrairement aux nourrissons nés à terme. L'auteur a alors proposé que les nourrissons nés prématurés ne perçoivent pas l'ensemble des informations relatives au flux optique. Un traitement des données ultérieur au travail de thèse est envisagé pour étudier le couplage temporel entre la stimulation visuelle, notamment au début de la stimulation visuelle.

Toujours dans l'objectif d'étudier le lien entre la perception des informations sensorielles et le contrôle postural chez les enfants, il pourrait aussi être pertinent de proposer des flux visuels avec des fréquences différentes. En effet, Sparto et al. (2006) ont montré que, chez des enfants âgés de 7 à 12 ans, l'amplitude des déplacements du CdP augmentait avec l'augmentation de la fréquence du flux visuel. Ainsi, proposer différentes fréquences permettrait aussi de comparer les caractéristiques du couplage entre le flux visuel et les ajustements posturaux chez les enfants nés à terme ou prématurés.

Une autre mesure complémentaire pourrait être celle de la verticale visuelle subjective. En effet, cette mesure est un indicateur de la prise en compte des différentes informations sensorielles impliquées dans le contrôle postural. Bucci et al. (2015, 2017) ont mis en évidence une verticale visuelle subjective moins précise chez des enfants nés prématurés âgés de 3 à 6 ans, mais sans exclure les participants avec des lésions neurologiques majeures.

Encadré 11 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche d'équilibre statique

Les tests standardisés évaluant les habiletés de motricité globale ont montré des différences significatives chez les enfants nés prématurés uniquement lorsque les participants avec des lésions neurologiques majeures n'étaient pas exclus. Par ailleurs, des études s'appuyant sur des analyses plus fines des caractéristiques du signal postural (ex. vitesse de déplacement du CdP) ont révélé de moins bonnes habiletés de contrôle postural chez des nourrissons et enfants nés prématurés. Cependant les participants avec des lésions neurologiques majeures n'étaient pas exclus dans ces études. L'objectif du travail de recherche présenté ici était de s'appuyer sur des mesures classiques stabilométriques et une analyse non linéaire du signal postural dans une tâche d'équilibre statique pour comparer les habiletés de contrôle postural d'enfants nés grands prématurés et d'enfants nés à terme, tous âgés de 8 ans et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Cette tâche était effectuée dans trois conditions différentes qui permettaient d'étudier l'influence des informations visuelles sur le contrôle postural. L'hypothèse avancée était que les enfants nés prématurés seraient plus en difficulté que les enfants nés à terme pour contrôler leur posture lorsque les informations visuelles étaient absentes ou lorsqu'un flux visuel, provoquant un conflit visuo-vestibulaire, était présenté. Les résultats ont cependant montré que les enfants nés à terme et les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental avaient des résultats comparables pour la variabilité spatiale du contrôle postural, pour son coût énergétique, ainsi que pour la régularité temporelle de la structure du signal postural. Cependant, le contrôle postural des enfants nés prématurés était moins efficient dans la condition où l'ensemble des informations sensorielles étaient disponibles et dans la condition où le flux visuel était présenté. Une interprétation possible de ces résultats serait que l'accès aux informations visuelles ne permettrait pas aux enfants nés prématurés d'avoir un contrôle postural optimal combinant des informations visuelles et proprioceptives.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Chapitre X - Discussion générale

1. L'hypothèse d'un développement différent des processus perceptivo-moteurs chez les enfants nés prématurés

L'hypothèse générale avancée dans ce travail de thèse était que, dans le cas d'une naissance prématurée, la mise en place des processus impliqués dans les couplages perception-action s'effectue différemment sous l'influence d'expériences sensorielles, multisensorielles et sensorimotrices atypiques. Des différences sont alors attendues à long terme sur le développement perceptivo-moteur. Pour tester cette hypothèse, trois tâches ont été proposées à des enfants nés à terme et à des enfants nés prématurés, tous âgés de 8 ans lors de leur participation et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. En parallèle, des tests standardisés étaient utilisés afin de vérifier l'absence de trouble neurodéveloppemental, notamment perceptivo-moteur.

1.1. Des différences entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme

La tâche de discrimination de la forme d'objets tridimensionnels non familiers et écologiques dans les modalités haptique et visuelle avait pour objectif d'évaluer la perception des équivalences intermodalitaires dans ces mêmes modalités. Pour cela, deux conditions intramodales et deux conditions intermodales ont été proposées aux deux groupes d'enfants et un indice fin des performances (indice d') a été calculé. Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence entre les deux groupes d'enfants quelle que soit la condition, tant pour les performances que pour les stratégies de réponse. Ainsi, cette étude a mis en évidence que, en absence de diagnostic de trouble neurodéveloppemental à l'âge de 8 ans, les enfants nés grands prématurés réussissent aussi bien que les enfants nés à terme du même âge à percevoir les informations visuelle et haptique en lien avec la forme d'un objet en 3D. Ce résultat est aussi retrouvé pour les équivalences intermodalitaires pour ces deux modalités, que soit dans le sens de la modalité haptique vers la modalité visuelle ou de la modalité visuelle vers la modalité haptique. Ces observations sont cohérentes avec celles mises en évidence par Rose, Feldman, Futterweit, et Jankowski, (1998) chez des enfants de 11 ans. Il est alors possible

d'avancer que les moins bonnes habiletés de perception des équivalences intermodalitaires observées chez les nourrissons nés prématurés (Rose, Gottfried, & Bridger, 1978) pourraient être dues à un délai de maturation des habiletés de perception des équivalences intermodalitaires qui serait rattrapé à l'âge de 8 ans.

La tâche de poursuite visuomanuelle informatisée avait pour objectif d'étudier, à l'âge de 8 ans, les habiletés de contrôle visuomoteur d'enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Dans cette tâche, les enfants devaient poursuivre une cible ayant une vitesse constante mais une trajectoire parfois non prévisible. L'hypothèse avancée était que les enfants nés prématurés seraient plus en difficulté que les enfants nés à terme lorsque la trajectoire de la cible était peu ou pas du tout prévisible car leurs processus visuomoteurs sont moins efficaces. La mesure de la précision de la poursuite (distance entre la cible et l'effecteur), ainsi que les mesures de la cinématique du mouvement (ex. délai visuomoteur), ont mis en évidence que les enfants nés prématurés avaient une poursuite moins précise que les enfants nés à terme et ceci que la trajectoire soit prévisible ou non. Ce résultat rejoint les observations de Potharst et al. (2013) qui avaient montré, en s'appuyant sur une tâche de poursuite standardisée, que les enfants nés prématurés âgés de 5 ans étaient moins précis que les enfants nés à terme du même âge. Au niveau du contrôle du mouvement, il apparaît que les enfants prématurés ont produit plus de régulations dans la condition la plus imprévisible. Cela peut suggérer une dominance ou une moindre précision dans ces mécanismes. Par conséquent, les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental avaient des processus visuomoteurs moins efficaces que les enfants nés à terme à l'âge de 8 ans. Cette interprétation avait déjà été avancée par Van Braeckel et al. (2008, 2010) pour une population d'enfants nés à terme et prématurés âgés de 7 à 11 ans. L'analyse des facteurs explicatifs de la précision de la poursuite a notamment souligné l'implication des délais temporels du contrôle visuomoteur.

La tâche d'équilibre statique avait pour objectif de s'appuyer sur des mesures classiques stabilométriques et une analyse non linéaire du signal postural dans une tâche d'équilibre statique pour comparer les habiletés de contrôle postural d'enfants nés grands prématurés et d'enfants nés à terme, tous âgés de 8 ans et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. Pour étudier les caractéristiques des couplages perception-action, la tâche d'équilibre statique a été réalisée dans trois conditions différentes. L'hypothèse avancée, s'appuyant notamment sur les travaux de Bucci et al. (2015, 2017), était que les enfants nés prématurés seraient plus en difficulté que les enfants nés à terme pour contrôler leur équilibre postural debout lorsque les informations visuelles étaient absentes ou perturbées (conflit avec les informations

vestibulaires). Les résultats ont montré que les deux groupes d'enfants présentaient des résultats comparables pour la variabilité spatiale du contrôle postural (surface de déplacement du CdP), le coût postural (dispersion des fréquences des oscillations posturales), ainsi que la régularité temporelle de la structure du signal postural (Sample Entropy). Cependant, les mesures de la vitesse de déplacement du CdP ont montré que le contrôle postural des enfants nés prématurés était moins efficient dans la condition contrôle (yeux ouverts avec les repères visuels) et dans la condition de perturbation visuelle (flux visuel). Une interprétation possible de ces résultats serait que l'accès aux informations visuelles ne permettrait pas aux enfants nés prématurés d'avoir un contrôle postural plus efficient et qu'ils auraient plus de difficulté à contrôler leur posture lorsqu'il est nécessaire d'ajuster les couplages perception-action impliqués.

1.2. Processus visuomoteurs, expériences précoces et organisation neuronale

Les trois tâches proposées ont permis d'étudier les caractéristiques de processus perceptivo-moteurs impliqués dans des activités motrices variées. Les résultats ont mis en évidence des différences entre les enfants nés grands prématurés et les enfants nés à terme, tous âgés de 8 ans et sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, en termes d'habiletés de coordination visuomotrice et d'efficience du contrôle postural, dans un contexte où les informations visuelles sont disponibles ou perturbées. Cependant, aucune différence n'a été montrée concernant la perception des équivalences intermodalitaires impliquant une exploration d'objets tridimensionnels dans les modalités haptiques et visuelle. Ces observations montrent donc que la grande prématurité est associée à un développement spécifique des processus perceptivo-moteurs, et plus précisément visuomoteurs, impliqués tant au niveau du contrôle du geste manuel que du contrôle postural. Les tests standardisés proposés en parallèle ont confirmé l'absence de trouble perceptivo-moteur dans les deux groupes d'enfants. Ce constat, associé aux différences observées dans les tâches proposées entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme, rejoint la théorie du Neuroconstructivisme qui avance que des performances évaluées dans la norme par le biais de tests standardisés peuvent mobiliser des processus sous-jacents différents (Karmiloff-Smith, 2009).

L'ensemble de ces éléments soulignent ainsi le rôle majeur des interactions précoces entre l'individu et son environnement (Gottlieb, 1971; Gottlieb, Wahlsten, & Lickliter, 2007) dans le développement perceptivo-moteur à long terme chez les enfants nés grands prématurés. De

plus, les expériences multisensorielle et sensorimotrice précoces, atypiques dans le contexte d'une naissance prématurée, sont des éléments clés de l'organisation des réseaux de neurones et des connections corticales (Khazipov & Milh, 2018). Ainsi, il est possible de supposer que les processus perceptivo-moteurs observés suite à une naissance prématurée soient associés à des réseaux de neurones différents de ceux mis en place dans le contexte d'une naissance à terme. Cette hypothèse est soutenue par plusieurs études menées chez des enfants nés prématurés et nés à terme concernant le réseau préfrontal-pariétal-occipital impliqué dans le contrôle visuomoteur (Bucci et al., 2017; Geldof, Van Wassenae, De Kieviet, Kok, & Oosterlaan, 2012) ainsi que les réseaux thalamo-corticaux (Judaš et al., 2005; Volpe, 2009) mobilisés dans la perception des informations sensorielles. Cette réorganisation neurologique pourrait participer à l'existence de processus d'adaptation à long terme qui expliqueraient l'absence de difficultés dans les activités quotidiennes pour les enfants nés grands prématurés malgré des processus perceptivo-moteurs moins efficaces.

Enfin, même si les expériences précoces jouent un rôle majeur dans le développement perceptivo-moteur, il est essentiel de ne pas oublier que les expériences peuvent avoir un effet tout au long de la vie, générant ainsi de multiples trajectoires développementales différentes (Rutter & Sroufe, 2000). Ainsi, la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée a mis en évidence une variabilité importante de la précision de la poursuite chez les enfants nés prématurés. Cette variabilité a aussi été observée dans des tests standardisés évaluant les habiletés perceptivo-motrices (De Rose et al., 2013; Pietz et al., 2004; Torrioli et al., 2000). Il pourrait être dès lors être intéressant d'étudier les facteurs associés à cette variabilité pour mieux comprendre les trajectoires développementales des enfants. Par exemple, les analyses de la tâche de poursuite ont notamment montré que les activités sportives pratiquées pendant l'année scolaire en cours avaient un effet sur la précision visuomotrice.

1.3. Une limite majeure

Pour étudier le plus finement possible les différences entre les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme et avoir des effectifs suffisants, il a été choisi de mener cette recherche à l'âge de 8 ans. Cependant, une approche longitudinale, comme celle utilisée dans les études EPIPAGE (Ancel, Goffinet, & EPIPAGE 2, 2014), permettrait d'accéder aux trajectoires développementales des habiletés perceptivo-motrices. Cette approche permettrait ainsi d'étudier la valeur prédictive de mesures effectuées chez les nouveau-nés et nourrissons, mais

aussi apporterait des informations pertinentes sur la temporalité des effets des facteurs périnataux qu'il est difficile d'étudier avec une seule mesure.

2. Perspectives apportées

Le travail de recherche présenté ici apporte, malgré son caractère exploratoire, de nouvelles pistes cliniques dans l'évaluation des habiletés perceptivo-motrices des enfants nés prématurés, ainsi que dans le domaine de la recherche.

2.1. Vers de nouveaux tests standardisés ?

Les travaux portant sur le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans trouble neurologique (e.g. Caravale, Tozzi, Albino, & Vicari, 2005; De Rose et al., 2013; Torrioli et al., 2000), et s'appuyant sur des tests standardisés, avaient mis en évidence des différences au niveau de la motricité fine (dextérité manuelle, coordination visuomotrice), mais aucune au niveau de la motricité globale (équilibre). Dans les tests standardisés proposés dans ce travail de recherche, des différences ont uniquement été mises en évidence dans des tests de manipulation de balle et d'objets impliquant les habiletés de coordination visuomotrice, tandis qu'aucune différence n'a été observée dans les activités manuelles impliquant la manipulation fine d'objets ou dans les tests d'équilibre impliquant la motricité globale. Cependant, des mesures plus fines de l'activité motrice ont mis en évidence des différences entre les enfants nés à terme et les enfants nés prématurés dans des tâches impliquant la motricité fine et la motricité globale. Ces résultats peuvent amener à questionner la sensibilité des tests cliniques pour détecter des difficultés subtiles ou des différences entre les deux groupes d'enfants car ces derniers ne permettraient pas une analyse fine des processus perceptivo-moteurs mobilisés.

Le diagnostic des troubles neurodéveloppementaux, dont les troubles perceptivo-moteurs, est un enjeu majeur dans le contexte des naissances prématurées qui rendent les enfants plus vulnérables à ces troubles (e.g. Williams, Lee, & Anderson, 2009). Or, des mesures plus fines que celles des tests standardisés, c'est-à-dire la vitesse d'exécution et sur le nombre de bonnes ou mauvaises réponses, pourraient devenir des indicateurs pertinents du développement perceptivo-moteur. Ainsi, les tâches de poursuite visuomanuelle et d'équilibre statique proposées dans ce travail de thèse pourraient servir de base à l'élaboration de nouveaux tests

standardisés. Ces derniers permettraient d'étudier plus finement les processus sous-jacents à la performance, puis servir d'exercices de rééducation en cas de difficultés observées.

2.2. Interactions entre développement cognitif et moteur : une nouvelle piste de recherche

Il existe, notamment chez les enfants, un lien entre les performances cognitives et motrices (Roebers & Kauer, 2009; Wassenberg et al., 2005), mais aussi un lien entre les trajectoires de développement des compétences cognitives et celles des habiletés motrices (Davis, Pitchford, & Limback, 2011). Ces observations ont aussi été faites pour des populations spécifiques comme des enfants ayant reçu un diagnostic de TAC (Asonitou, Koutsouki, & Charitou, 2010; Asonitou, Koutsouki, Kourtessis, & Charitou, 2012), et chez des enfants nés prématurés (Oudgenoeg-Paz, Mulder, Jongmans, Van der Ham, & Van der Stigchel, 2017; Seitz et al., 2006; Van Hus, Potharst, Jeukens-Visser, Kok, & Van Wassenae-Leemhuis, 2014).

Les difficultés cognitives et motrices sont plus fréquemment diagnostiquées dans la population des enfants nés prématurés que dans la population des enfants nés à terme, et elles peuvent être concomitantes (e.g. Potharst et al., 2011). Il pourrait dès lors être intéressant d'étudier conjointement les profils cognitifs et les profils perceptivo-moteurs. En effet, certaines recherches portant sur les habiletés perceptivo-motrices des enfants nés prématurés sans troubles neurologiques ont déjà soulevé la question de l'implication des processus cognitifs (Chapitre V - partie 3.3.). Leurs résultats ont montré que le score global du QI n'était pas une mesure en lien avec les habiletés visuomotrices (Caravale et al., 2005; Van Braeckel, Butcher, Geuze, Bos, & Bouma, 2008; Van Braeckel et al., 2010), tandis que les processus attentionnels pourraient jouer un rôle (P. De Rose et al., 2013; Liebhardt, Sontheimer, & Linderkamp, 2000; Torrioli et al., 2000). La question de l'implication des fonctions cognitives dites exécutives (ex. processus attentionnels, la mémoire de travail) avait aussi été soulevée dans le travail de recherche mené ici concernant le lien entre la manipulation des informations en mémoire de travail et les temps de réponse à la tâche de discrimination de la formes d'objets tridimensionnels dans les modalités haptique et visuelle. Pour amorcer ces nouvelles pistes de recherche, il est possible de mettre en œuvre des paradigmes expérimentaux dans lesquels des tâches cognitives sont exécutées alors même que les informations sensorielles à dispositions des enfants sont rendues conflictuelles.

« Motricité et cognition sont indissociables » (Atkinson-Clement, Eusebio, & Pinto, 2014). Cette affirmation a notamment été démontrée par l'utilisation de doubles tâches dans

lesquelles une tâche motrice, comme marcher, était mise en concurrence avec une tâche cognitive (Atkinson-Clement et al., 2014). Une des théories explicatives des interférences observées entre la tâche motrice et la tâche cognitive dans une situation de double tâche est que les ressources disponibles seraient divisées entre les deux tâches (Bayot et al., 2018). La majorité des études s'intéressant aux liens entre motricité et fonctions cognitives, principalement exécutives, portent sur la dégradation du tableau clinique neuropsychologique et moteur en lien avec le vieillissement ou des pathologies neurodégénératives (Bayot et al., 2018). Or l'effet négatif de l'ajout d'une tâche cognitive sur la réalisation d'une tâche motrice a également été montrée dans des populations plus jeunes, par exemple chez des enfants ayant reçu un diagnostic de TAC (Cherng, Liang, Chen, & Chen, 2009). Un paradigme de double tâche permettrait donc, dans le contexte d'une naissance prématurée, d'étudier les interférences entre les processus moteurs et les processus cognitifs dans une population vulnérable aux troubles du neurodéveloppement, mais aussi de proposer des programmes d'entraînement.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Aarnoudse-Moens, C. S. H., Duivenvoorden, H. J., Weisglas-Kuperus, N., Van Goudoever, J. B., & Oosterlaan, J. (2012). The profile of executive function in very preterm children at 4 to 12 years. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(3), 247–253. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04150.x>
- Achenbach, T. M. (1999). The Child Behavior Checklist and related instruments. In M. E. Maruish (Ed.), *The use of psychological testing for treatment planning and outcomes assessment* (pp. 429–466). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Agniel, A., Joannette, Y., Doyon, B., & Duchéin, C. (1992). *Protocole Montréal-Toulouse d'Examen Des Gnosies Visuelles (PEGV) et Des Gnosies Auditives (PEGA)* (Ortho-Edit). Isbergues.
- Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2011). Trouble de l'acquisition de la coordination : Bases neurobiologiques et aspects neurophysiologiques. *Neurophysiologie Clinique*, 42(1–2), 11–17. <http://doi.org/10.1016/j.neucli.2011.07.001>
- Albaret, J. M., Zanone, P. G., & De Castelnau, P. (2000). Une approche dynamique du trouble d'acquisition de la coordination. *Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez l'Enfant*, 12(4–5), 126–136.
- Allen, M. C. (2008). Neurodevelopmental outcomes of preterm infants. *Current Opinion in Neurology*, 21(2), 123–128. <http://doi.org/10.1097/WCO.0b013e3282f88bb4>
- Als, H., Duffy, F., & McAnulty, G. (2004). Early experience alters brain function and structure. *Pediatrics*, 113(4), 846. <http://doi.org/10.1542/peds.113.4.846>
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders* (4th ed. Re). Washington (DC): American Psychological Association Press.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders* (5th ed.). Arlington, VA: American Psychiatric Association. <http://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.744053>
- Anagnostakis, D., Petmezakis, J., Messaritakis, J., & Matsaniotis, N. (1980). Noise pollution in neonatal units: A potential health hazard. *Acta Paediatrica*, 69(6), 771–773. <http://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1980.tb07147.x>
- Ancel, P.-Y., Goffinet, F., & EPIPAGE 2, W. G. (2014). EPIPAGE 2: a preterm birth cohort in France in 2011. *BMC Pediatrics*, 14, 97. <http://doi.org/10.1186/1471-2431-14-97>

- Ancel, P.-Y., Goffinet, F., Kuhn, P., Langer, B., Matis, J., Hernandorena, X., ... Kaminski, M. (2015). Survival and Morbidity of Preterm Children Born at 22 Through 34 Weeks' Gestation in France in 2011. *JAMA Pediatrics*, 169(3), 230. <http://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.3351>
- Anderson, P. J., Doyle, L. W., & Victorian Infant Collaborative Study Group. (2004). Executive functioning in school-aged children who were born very preterm or with extremely low birth weight in the 1990s. *Pediatrics*, 114(1), 50–7. <http://doi.org/10.1542/peds.114.1.50>
- Annaz, D., Karmiloff-Smith, A., & Thomas, M. C. S. (2008). The importance of tracing developmental trajectories for clinical child neuropsychology. In J. Reed & J. Warner-Roger (Eds.), *Child Neuropsychology: Concepts, Theory, and Practice* (Wiler-Blac, pp. 7–18).
- Arnaud, C., Daubisse-Marliac, L., White-Koning, M., Pierrat, V., Larroque, B., Grandjean, H., ... Kaminski, M. (2007). Prevalence and associated factors of minor neuromotor dysfunctions at age 5 years in prematurely born children: the EPIPAGE Study. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 161(11), 1053–61. <http://doi.org/10.1001/archpedi.161.11.1053>
- Asonitou, K., Koutsouki, D., & Charitou, S. (2010). Motor skills and cognitive abilities as a precursor of academic performance in children with and without DCD. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 5, 1702–1707. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.350>
- Asonitou, K., Koutsouki, D., Kourtessis, T., & Charitou, S. (2012). Motor and cognitive performance differences between children with and without developmental coordination disorder (DCD). *Research in Developmental Disabilities*, 33(4), 996–1005. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.01.008>
- Atkinson-Clement, C., Eusebio, A., & Pinto, S. (2014). De la cognition à la motricité : Une remise en perspective des méthodes de rééducation. *Othomalin*.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science (New York, N.Y.)*, 255(5044), 556–9. <http://doi.org/10.1126/SCIENCE.1736359>
- Bair, W.-N., Kiemel, T., Jeka, J. J., & Clark, J. E. (2007). Development of multisensory reweighting for posture control in children. *Experimental Brain Research*, 183(4), 435–446. <http://doi.org/10.1007/s00221-007-1057-2>
- Ball, G., Boardman, J. P., Aljabar, P., Pandit, A., Arichi, T., Merchant, N., ... Counsell, S. J. (2013). The influence of preterm birth on the developing thalamocortical connectome. *Cortex*, 49(6), 1711–1721. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.07.006>

Bibliographie

- Bard, C., & Hay, L. (1983). Etude ontogénétique de la coordination visuo-manuelle. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 37(3), 390–413. <http://doi.org/10.1037/h0080742>
- Barray, V., Picard, A., & Camos, V. (2008). Etude comparative de la dyspraxie : Evaluation neuropsychologique d'enfants porteurs d'une dyspraxie développementale ou consécutive à la prématurité. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 51(3), 161–168. <http://doi.org/10.1016/j.annrmp.2008.01.004>
- Bart, O., Shayevits, S., Gabis, L. V., & Morag, I. (2011). Prediction of participation and sensory modulation of late preterm infants at 12 months: A prospective study. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2732–2738. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.05.037>
- Barutchu, A., Crewther, D. P., & Crewther, S. G. (2009). The race that precedes coactivation: Development of multisensory facilitation in children. *Developmental Science*, 12(3), 464–473. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00782.x>
- Basson, E. (2014). Suivi du prématuré : ce qu'il ne faut pas manquer. *Réalités Pédiatriques*, 186, 40–46.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., ... Damiano, D. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(8), 571–576. <http://doi.org/10.1017/S001216220500112X>
- Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiologie Clinique*, 48(6), 361–375. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCLI.2018.10.003>
- Beck, S., Wojdyla, D., Say, L., Betran, A. P., Merialdi, M., Requejo, J. H., ... Look, P. F. Van. (2010). The worldwide incidence of preterm birth: A systematic review of maternal mortality and morbidity. *Bulletin of the World Health Organization*, 88, 31–38. <http://doi.org/10.1590/S0042-96862010000100012>
- Benguigui, N., & Ripoll, H. (1998). Effects of Tennis Practice on the Coincidence Timing Accuracy of Adults and Children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 217–223. <http://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607688>

- Berardi, N., Pizzorusso, T., & Maffei, L. (2000). Critical periods during sensory development. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(1), 138–145. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)00047-1](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00047-1)
- Bertenthal, B. I., & Bai, D. L. (1989). Infants' sensitivity to optical flow for controlling posture. *Developmental Psychology*, 25(6), 936–945. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.25.6.936>
- Blauw-Hospers, C. H., & Hadders-Algra, M. (2005). A systematic review of the effects of early intervention on motor development. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(6), 421–432. <http://doi.org/10.1017/S0012162205000824>
- Blencowe, H., Cousens, S., Chou, D., Oestergaard, M., Say, L., Moller, A. B., ... Lawn, J. (2013). Born too soon: The global epidemiology of 15 million preterm births. *Reproductive Health*, 10, 1742–4755. <http://doi.org/10.1186/1742-4755-10-S1-S2>
- Blencowe, H., Cousens, S., Chou, D., Oestergaard, M. Z., Say, L., Moller, A., ... Lawn. (2012). 15 million preterm births: priorities for action based on national, regional and global estimates. In *Born Too Soon: The Global Action Report on Preterm Birth*. New York: World Health Organization.
- Blencowe, H., Cousens, S., Oestergaard, M. Z., Chou, D., Moller, A. B., Narwal, R., ... Lawn, J. E. (2012). National, regional, and worldwide estimates of preterm birth rates in the year 2010 with time trends since 1990 for selected countries: A systematic analysis and implications. *The Lancet*, 379(9832), 2162–2172. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60820-4](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60820-4)
- Blondel, B., Supernant, C., Du Mazubrun, C., & Bréart, G. (2006). La santé périnatale en France métropolitaine de 1995 à 2003. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de La Reproduction*, 35(4), 373–387.
- Bougle, D., Denise, P., Yaseen, H., Tranier, S., Voirin, J., Pottier, M., & Venezia, R. (1990). Maturation of peripheral nerves in preterm infants. Motor and proprioceptive nerve conduction. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(1), 118–121. [http://doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90159-H](http://doi.org/10.1016/0013-4694(90)90159-H)
- Bremner, A. J., Lewkowicz, D. J., & Spence, C. (2012). Multisensory approach to development. In A. J. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory Development* (Oxford Uni, pp. 1–26). Oxford.
- Bremner, J. G. (2000). Developmental relationships between perception and action in infancy. *Infant Behavior & Development*, 23(2000), 567–582. [http://doi.org/10.1016/S0163-6383\(01\)00058-3](http://doi.org/10.1016/S0163-6383(01)00058-3)

- Bruggink, J. L. M., Einspieler, C., Butcher, P. R., Van Braeckel, K. N. J. A., Prechtl, H. F. R., & Bos, A. F. (2008). The Quality of the Early Motor Repertoire in Preterm Infants Predicts Minor Neurologic Dysfunction at School Age. *The Journal of Pediatrics*, 153(1), 32–39. <http://doi.org/10.1016/J.JPEDS.2007.12.047>
- Bruininks, R. H. (1978). *Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency* (Circle Pin). AGS Publishing.
- Bucci, M. P., Stordeur, C., Acquaviva, E., Peyre, H., & Delorme, R. (2016). Postural instability in children with ADHD is improved by methylphenidate. *Frontiers in neuroscience*, 10, 163. <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2016.00163>
- Bucci, M. P., Tringali, M., Trousson, C., Husson, I., Baud, O., & Biran, V. (2017). Spatial and temporal postural analysis in children born prematurely. *Gait & Posture*, 57, 230–235. <http://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2017.06.023>
- Bucci, M. P., Wiener-Vacher, S., Trousson, C., Baud, O., Biran, V., Volpe, J., ... Blanke, O. (2015). Subjective visual vertical and postural capability in children born prematurely. *PLOS ONE*, 10(3). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0121616>
- Bullinger, A. (2015a). *Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars. Tome 1. Un parcours de recherche* (Erès). Toulouse.
- Bullinger, A. (2015b). *Le développement sensorimoteur de l'enfant et ses avatars. Tome 2. L'espace de la pesanteur, le bébé prématuré et l'enfant avec TED*. Toulouse: Érès.
- Bushnell, E. W., & Baxt, C. (1999). Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 25(6), 1867–81. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.6.1867>
- Caravale, B., Tozzi, C., Albino, G., & Vicari, S. (2005). Cognitive development in low risk preterm infants at 3-4 years of life. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition*, 90(6), F474–F479. <http://doi.org/10.1136/adc.2004.070284>
- Castellani, V., & Delloye, C. (2013). Le cerveau en fiche. Chapitre 2 : le développement du cerveau. Retrieved from <https://www.neurosciences.asso.fr/ancienne-page/fiches-cerveau/>
- Chabloz, C., Marignier, S., Dargent, S., Jomain-Guedel, V., Monge, A., Séraphin, O., & Descotes, A. (2011). Consensus régional formalisé sur la dyspraxie développementale. *ANAE - Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez l'Enfant*, 23(111), 51–56.

- Chan, E., & Quigley, M. A. (2014). School performance at age 7 years in late preterm and early term birth: a cohort study. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 99(6), F451–F457. <http://doi.org/10.1136/archdischild-2014-306124>
- Charkaluk, M. L., Truffert, P., Fily, A., Ancel, P. Y., & Pierrat, V. (2010). Neurodevelopment of children born very preterm and free of severe disabilities: The Nord-Pas de Calais Epipage cohort study. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, 99(5), 684–689. <http://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2010.01695.x>
- Cherng, R.-J., Liang, L.-Y., Chen, Y.-J., & Chen, J.-Y. (2009). The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait & Posture*, 29(2), 204–207. <http://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2008.08.003>
- Chicoine, A., Lassonde, M., & Proteau, L. (1992). Developmental aspects of sensorimotor integration. *Developmental Neuropsychology*, 8(4), 381–394. <http://doi.org/10.1080/87565649209540533>
- Cicchetti, D., & Rogosch, F. A. (1996). Equifinality and multifinality in developmental psychopathology. *Development and Psychopathology*, 8(04), 597. <http://doi.org/10.1017/S0954579400007318>
- Conners, C. K. (2001). Conners' rating scales revised. *Multi-Health Systems*.
- Cooke, R. W. I., Foulder-Hughes, L., Newsham, D., & Clarke, D. (2004). Ophthalmic impairment at 7 years of age in children born very preterm. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 89(3), F249–F253. <http://doi.org/10.1136/ADC.2002.023374>
- Coq, J.-O., Delcour, M., Massicotte, V. S., Baud, O., & Barbe, M. F. (2016). Prenatal ischemia deteriorates white matter, brain organization, and function: Implications for prematurity and cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58, 7–11. <http://doi.org/10.1111/dmcn.13040>
- Dall'Oglio, A. M., Rossiello, B., Coletti, M. F., Bultrini, M., De Marchis, C., Ravà, L., ... Cuttini, M. (2010). Do healthy preterm children need neuropsychological follow-up? Preschool outcomes compared with term peers. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52(10), 955–961. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03730.x>
- David, M. (2016). *Le développement sensori-moteur des enfants prématurés. Analyses des couplages tactilo-kinesthésique et visuo-audio-vestibulaire*. Caen Normandie.

- Davis, E. E., Pitchford, N. J., & Limback, E. (2011). The interrelation between cognitive and motor development in typically developing children aged 4-11 years is underpinned by visual processing and fine manual control. *British Journal of Psychology*, 102(3), 569–584. <http://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2011.02018.x>
- Davis, N. M., Ford, G. W., Anderson, P. J., & Doyle, L. W. (2007). Developmental coordination disorder at 8 years of age in a regional cohort of extremely-low-birthweight or very preterm infants. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(5), 325–330. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00325.x>
- De Broca, A. (2012). *Le développement de l'enfant: aspects neuro-psycho-sensoriels*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson SAS.
- de Groot, L., Hoek, A.-M., Hopkins, B., & Touwen, B. C. (1992). Development of the Relationship between Active and Passive Muscle Power in Preterms after Term Age. *Neuropediatrics*, 23(06), 298–305. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1071362>
- de Groot, L., Hoek, A.-M., Hopkins, B., & Touwen, B. C. (1993). Development of Muscle Power in Preterm Infants: Individual Trajectories After Term Age. *Neuropediatrics*, 24(02), 68–73. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1071516>
- de Groot, L., Hopkins, B., & Touwen, B. (1995). Muscle power, sitting unsupported and trunk rotation in pre-term infants. *Early Human Development*, 43(1), 37–46. [http://doi.org/10.1016/0378-3782\(95\)01661-L](http://doi.org/10.1016/0378-3782(95)01661-L)
- de Jong, M., Verhoeven, M., & van Baar, A. L. (2015). Attention capacities of preterm and term born toddlers: A multi-method approach. *Early Human Development*, 91(12), 761–768. <http://doi.org/10.1016/J.EARLHUMDEV.2015.08.015>
- De Kieviet, J. F., Piek, J. P., Aarnoudse-Moens, C. S., & Oosterlaan, J. (2009). Motor development in very preterm and very low-birth-weight children from birth to adolescence: A meta-analysis. *The Journal of the American Medical Association*, 302(20), 2235–2242. <http://doi.org/10.1001/jama.2009.1708>
- De Kieviet, J. F., Van Elburg, R. M., Lafeber, H. N., & Oosterlaan, J. (2012). Attention problems of very preterm children compared with age-matched term controls at school-age. *Journal of Pediatrics*, 161(5), 824–829. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.05.010>
- De Kieviet, J. F., Zoetebier, L., Van Elburg, R. M., Vermeulen, R. J., & Oosterlaan, J. (2012). Brain development of very preterm and very low-birthweight children in childhood and adolescence: A meta-analysis. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(4), 313–323. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04216.x>

- De Rose, P., Albamonte, E., Laganà, V., Sivo, S., Pisoni, S., Gallini, F., ... Ricci, D. (2013). Perceptual-motor abilities in pre-school preterm children. *Early Human Development*. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2013.07.001>
- de Vries, N. K. S., & Bos, A. F. (2010). The quality of general movements in the first ten days of life in preterm infants. *Early Human Development*, 86(4), 225–229. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2010.03.004>
- Decker, L., Cignetti, F., & Stergiou, N. (2010). Complexity and Human Gait. *Journal Articles*, 91. Retrieved from <https://digitalcommons.unomaha.edu/biomechanics/articles/91>
- Den Ouden, L., Rijken, M., Brand, R., Verloove-Vanhorick, S. ., & Ruys, J. . (1991). Is it correct to correct? Developmental milestones in 555 “normal” preterm infants compared with term infants. *The Journal of Pediatrics*, 118(3), 399–404. [http://doi.org/10.1016/S0022-3476\(05\)82154-7](http://doi.org/10.1016/S0022-3476(05)82154-7)
- Desmurget, M., & Grafton, S. (2000). Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 423–431. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01537-0](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01537-0)
- Dewey, D., Kaplan, B. J., Crawford, S. G., & Wilson, B. N. (2002). Developmental coordination disorder: Associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Human Movement Science*, 21, 905–918. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00163-X](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00163-X)
- Dowell, C. J., Norman, J. F., Moment, J. R., Shain, L. M., Norman, H. F., Phillips, F., & Kappers, A. M. L. (2018). Haptic shape discrimination and interhemispheric communication. *Scientific Reports*, 8(1), 377. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-18691-2>
- Dubois, J., Dehaene-Lambertz, G., Kulikova, S., Poupon, C., Hüppi, P. S., & Hertz-Pannier, L. (2014). The early development of brain white matter: A review of imaging studies in fetuses, newborns and infants. *Neuroscience*, 276, 48–71. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.12.044>
- Dubowitz, L. M., Dubowitz, V., & Mercuri, E. (1999). *The neurological assessment of the preterm and full-term newborn infant*. *Clinics in Developmental Medicine* (2nd ed., Vol. 148). Cambridge University Press.
- Dusing, S. C. (2016). Postural variability and sensorimotor development in infancy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58(S4), 17–21. <http://doi.org/10.1111/dmcn.13045>

- Dusing, S. C., Izzo, T. A., Thacker, L. R., & Galloway, J. C. (2014). Postural complexity differs between infant born full term and preterm during the development of early behaviors. *Early Human Development*, 90(3), 149–156. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2014.01.006>
- Dziuba, E., Drzał-Grabiec, J., Truszczyńska-Baszak, A., Guzek, K., & Zajkiewicz, K. (2017). Balance in children born prematurely currently aged 6–7. *Biomedical Human Kinetics*, 9(1), 181–186. <http://doi.org/10.1515/bhk-2017-0025>
- Ecevit, A., Anuk-İnce, D., Erbek, S., Özkiraz, S., Kurt, A., Erbek, S. S., & Tarcan, A. (2012). Comparison of cervical vestibular evoked myogenic potentials between late preterm and term infants. *The Turkish Journal of Pediatrics*, 54, 509–514.
- Eckert, H. M., & Eichorn, D. H. (1977). Developmental Variability in Reaction Time. *Child Development*, 48(2), 452. <https://doi.org/10.2307/1128638>
- Edelman, G. M. (1993). Neural Darwinism: Selection and reentrant signaling in higher brain function. *Neuron*, 10(2), 115–125. [http://doi.org/10.1016/0896-6273\(93\)90304-A](http://doi.org/10.1016/0896-6273(93)90304-A)
- Einspieler, C., Bos, A. F., Libertus, M. E., & Marschik, P. B. (2016). The General Movement Assessment Helps Us to Identify Preterm Infants at Risk for Cognitive Dysfunction. *Frontiers in Psychology*, 7, 406. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00406>
- Eshaghi, Z., Jafari, Z., & Jalaie, S. (2015). Static balance function in children with a history of preterm birth. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 29, 310.
- Eshaghi, Z., Jafari, Z., Shaibanizadeh, A., Jalaie, S., & Ghaseminejad, A. (2014). The effect of preterm birth on vestibular evoked myogenic potentials in children. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 28, 75.
- Eyre, J. A., Miller, S., Clowry, G. J., Conway, E. A., & Watts, C. (2000). Functional corticospinal projections are established prenatally in the human foetus permitting involvement in the development of spinal motor centres. *Brain*, 123(1). <http://doi.org/10.1093/brain/123.1.51>
- Fallang, B., Oien, I., Hellem, E., Saugstad, O. D., & Hadders-Algra, M. (2005). Quality of reaching and postural control in young preterm infants is related to neuromotor outcome at 6 years. *Pediatric Research*, 58(2), 347–353. <http://doi.org/10.1203/01.PDR.0000170898.60160.09>
- Fallang, B., Saugstad, O. D., & Hadders-Algra, M. (2003). Postural adjustments in preterm infants at 4 and 6 months post-term during voluntary reaching in supine position. *Pediatric Research*, 54(6), 826–833. <http://doi.org/10.1203/01.PDR.0000088072.64794.F3>

- Feldman, R. (2002). Les programmes d'intervention pour les enfants prématurés et leur impact sur le développement : et trop et pas assez. *Devenir*, 14(3), 239. <http://doi.org/10.3917/dev.023.0239>
- Ferrari, F., Grosoli, M. V., Fontana, G., & Cavazzuti, G. B. (1983). Neurobehavioral comparison of low-risk preterm and fullterm infants at term conceptional age. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 25(4), 450–458. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1983.tb13789.x>
- Ferrero, D. M., Larson, J., Jacobsson, B., Di Renzo, G. C., Norman, J. E., Martin, J. N., ... Simpson, J. L. (2016). Cross-Country Individual Participant Analysis of 4.1 Million Singleton Births in 5 Countries with Very High Human Development Index Confirms Known Associations but Provides No Biologic Explanation for 2/3 of All Preterm Births. *PLOS ONE*, 11(9), e0162506. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0162506>
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS* (Third edit). Sage Publications.
- Fily, A., Pierrat, V., Delporte, V., Breart, G., & Truffert, P. (2006). Factors Associated With Neurodevelopmental Outcome at 2 Years After Very Preterm Birth : The. *Pediatrics*, 117(2). <http://doi.org/10.1542/peds.2005-0236>
- Flatters, I., Hill, L. J. B., Williams, J. H. G., Barber, S. E., Mon-Williams, M., Strand, S., ... Andries, C. (2014). Manual Control Age and Sex Differences in 4 to 11 Year Old Children. *PLoS ONE*, 9(2), e88692. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0088692>
- Foreman, N., Fielder, A., Minshell, C., Hurron, E., & Sergienko, E. (1997). Visual search, perception, and visual-motor skill in “healthy” children born at 27-32 weeks’ gestation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 64(1), 27–41. <http://doi.org/10.1006/jecp.1996.2326>
- Formiga, K. M. R., & Linhares, M. B. M. (2011). Motor development curve from 0 to 12 months in infants born preterm. *Acta Paediatrica*, 100(3), 379–384. <http://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2010.02002.x>
- Forssberg, H., & Nashner, L. M. (1982). Ontogenetic development of postural control in man: Adaptation to altered support and visual conditions during stance. *The Journal of Neuroscience*, 2(5), 545–552.
- Friel, K. M., & Martin, J. H. (2005). Role of sensory-motor cortex activity in postnatal development of corticospinal axon terminals in the cat. *The Journal of Comparative Neurology*, 485(1), 43–56. <http://doi.org/10.1002/cne.20483>

- Gaertner, C., Bucci, M. P., Obeid, R., & Wiener-Vacher, S. (2013). Subjective Visual Vertical and Postural Performance in Healthy Children. *PLoS ONE*, 8(11). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0079623>
- Gallo, J. E., & Lennerstrand, G. (1991). A population-based study of ocular abnormalities in premature children aged 5 to 10 years. *American Journal of Ophthalmology*, 111(5), 539–47. [http://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)73695-5](http://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)73695-5)
- Geldof, C. J. A., Van Wassenae, A. G., De Kieviet, J. F., Kok, J. H., & Oosterlaan, J. (2012). Visual perception and visual-motor integration in very preterm and/or very low birth weight children: A meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 33(2), 726–736. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.08.025>
- Gibson, E. J. (2000). Perceptual Learning in Development: Some Basic Concepts. *Ecological Psychology*, 12(4), 295–302. http://doi.org/10.1207/S15326969ECO1204_04
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. (Houghton M). Oxford, England.
- Gibson, J. J. (1979). *The theory of affordances. The ecological approach to visual perception*. (Houghton M). Boston, MA.
- Gibson, J. J., & Gibson, E. J. (1955). Perceptual learning: Differentiation or enrichment? *Psychological Review*, 62(1), 32–41. <http://doi.org/10.1037/h0048826>
- Goldberg, A. D., Allis, C. D., & Bernstein, E. (2007). Epigenetics: A Landscape Takes Shape. *Cell*, 128(4), 635–638. <http://doi.org/10.1016/J.CELL.2007.02.006>
- Goldenberg, R. L., Culhane, J. F., Iams, J. D., & Romero, R. (2008). Epidemiology and causes of preterm birth. *The Lancet*, 371(9606), 75–84. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60074-4](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60074-4)
- Gori, M., Del Viva, M., Sandini, G., Burr, D. C., Mendola, J. D., Sereno, M. I., & Dale, A. M. (2008). Young children do not integrate visual and haptic form information. *Current Biology : CB*, 18(9), 694–8. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2008.04.036>
- Gottlieb, G. (1971). Ontogenesis of sensory function in birds and mammals. *The Biopsychology of Development*, 67–128.
- Gottlieb, G. (1991). Experiential canalization of behavioral development: Theory. *Developmental Psychology*, 27(1), 4–13. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.27.1.4>
- Gottlieb, G. (2001). The Relevance of Developmental-Psychobiological Metatheory to Developmental Neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 19(1), 1–9. http://doi.org/10.1207/S15326942DN1901_1

- Gottlieb, G. (2003). Probabilistic Epigenesis of Development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.), *Handbook of Developmental Psychology* (SAGE, pp. 3–17).
- Gottlieb, G., Tomlinson, W. T., & Radell, P. L. (1989). Developmental intersensory interference: premature visual experience suppresses auditory learning in ducklings. *Infant Behavior and Development*, 12(1), 1–12. [http://doi.org/10.1016/0163-6383\(89\)90048-9](http://doi.org/10.1016/0163-6383(89)90048-9)
- Gottlieb, G., & Tucker Halpern, C. (2002). A relational view of causality in normal and abnormal development. *Development and Psychopathology*, 14, 421–435.
- Gottlieb, G., Wahlsten, D., & Lickliter, R. (2007). The significance of biology for human development: A developmental psychobiological systems view. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (pp. 210–257). New-York. <http://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0105>
- Goyen, T.-A., & Lui, K. (2009). Developmental coordination disorder in “apparently normal” schoolchildren born extremely preterm. *Archives of Disease in Childhood*, 94(4), 298–302. <http://doi.org/10.1136/adc.2007.134692>
- Graven, S. N. (2000). Sound and the developing infant in the NICU: Conclusions and recommendations for care. *Journal of Perinatology: Official Journal of the California Perinatal Association*, 20(8 Pt 2), S88–93. <http://doi.org/10.1038/sj.jp.7200444>
- Graven, S. N., & Browne, J. V. (2008). Sensory development in the fetus, neonate, and infant: Introduction and overview. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 8(4), 169–172. <http://doi.org/10.1053/j.nainr.2008.10.007>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534–537. <http://doi.org/10.1038/nature01647>
- Hadders-Algra, M. (2000a). The neuronal group selection theory: a framework to explain variation in normal motor development. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 42(8), 566–572. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2000.tb00714.x>
- Hadders-Algra, M. (2000b). The neuronal group selection theory: Promising principles for understanding and treating developmental motor disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 42(10), 707–715. <http://doi.org/10.1017/S0012162200001316>
- Hadders-Algra, M. (2002). Two distinct forms of minor neurological dysfunction: perspectives emerging from a review of data of the Groningen Perinatal Project. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 44(08), 561–571. <http://doi.org/10.1017/S0012162201002560>

- Hadders-Algra, M. (2003). Developmental coordination disorder: is clumsy motor behavior caused by a lesion of the brain at early age? *Neural Plasticity*, 10(1–2), 39–50. <http://doi.org/10.1155/NP.2003.39>
- Hadders-Algra, M. (2004). General movements: a window for early identification of children at high risk for developmental disorders. *The Journal of Pediatrics*, 145(2), S12–S18. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.05.017>
- Hadders-Algra, M. (2008). Reduced variability in motor behaviour: An indicator of impaired cerebral connectivity? *Early Human Development*, 84(12), 787–789. <http://doi.org/10.1016/J.EARLHUMDEV.2008.09.002>
- Held, R., & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56, 872–6.
- Hemgren, E., & Persson, K. (2007). Associations of motor co-ordination and attention with motor-perceptual development in 3-year-old preterm and full-term children who needed neonatal intensive care. *Child: Care, Health and Development*, 33(1), 11–21. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00625.x>
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children-2* (Harcourt A). London.
- Herrgård, E., Luoma, L., Tuppurainen, K., Karjalainen, S., & Martikainen, A. (2008). Neurodevelopmental profile at five years of children born at ≤ 32 weeks gestation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 35(12), 1083–1096. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1993.tb07926.x>
- Hill, E. L., Crane, L., & Bremner, A. J. (2012). Developmental disorders and multisensory perception. In A. J. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory Development* (Oxford Uni, pp. 273–300). Oxford.
- Husby, I. M., Skranes, J., Olsen, A., Brubakk, A.-M., & Evensen, K. A. I. (2013). Motor skills at 23 years of age in young adults born preterm with very low birth weight. *Early Human Development*, 89(9), 747–54. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2013.05.009>
- Jacobson, L. K., & Button, G. N. (2000). Periventricular leukomalacia: An important cause of visual and ocular motility dysfunction in children. *Survey of Ophthalmology*, 45(1), 1–13. [http://doi.org/10.1016/S0039-6257\(00\)00134-X](http://doi.org/10.1016/S0039-6257(00)00134-X)
- Jeka, J., Kiemel, T., Creath, R., Horak, F., & Peterka, R. (2004). Controlling Human Upright Posture: Velocity Information Is More Accurate Than Position or Acceleration. *Journal of Neurophysiology*, 92(4), 2368–2379. <http://doi.org/10.1152/jn.00983.2003>

- Johnson, A. N. (2001). Neonatal response to control of noise inside the incubator. *Pediatric Nursing*, 27(6), 600–5.
- Johnson, S., Hennessy, E., Smith, R., Trikić, R., Wolke, D., & Marlow, N. (2009). Academic attainment and special educational needs in extremely preterm children at 11 years of age: the EPICure study. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 94(4), F283–9. <http://doi.org/10.1136/adc.2008.152793>
- Jongmans, M. J., Mercuri, E., Dubowitz, L. M. ., & Henderson, S. E. (1998). Perceptual-motor difficulties and their concomitants in six-year-old children born prematurely. *Human Movement Science*, 17(4–5), 629–653. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(98\)00016-5](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(98)00016-5)
- Jongmans, M. J., Mercuri, E., Vries, L. De, Dubowitz, L., Sheila, E., Dis, A., ... Henderson, S. E. (1997). Minor neurological signs and perceptual-motor difficulties in prematurely born children. *Archives of Disease in Childhood*, 76, 9–14.
- Jouen, F., & Bloch, H. (1981). Le rôle des informations visuelles dans les premiers contrôles posturaux. *L'année Psychologique*, 81(1), 197–221. <http://doi.org/10.3406/psy.1981.28367>
- Jouen, F., Lepecq, J.-C., Gapenne, O., & Bertenthal, B. I. (2000). Optic flow sensitivity in neonates. *Infant Behavior and Development*, 23(3), 271–284. [http://doi.org/10.1016/S0163-6383\(01\)00044-3](http://doi.org/10.1016/S0163-6383(01)00044-3)
- Jouen, F., & Molina, M. (2000). Le rôle des flux sensoriels dans les débuts du développement. *Enfance*, 53, 235–247.
- Jouen, F., & Molina, M. (2007). *Naissance et connaissance: la cognition néonatale* (Mardaga). Wavre, Belgique.
- Judaš, M., Radoš, M., Jovanov-Milošević, N., Hrabac, P., Štern-Padovan, R., & Kostovic, I. (2005). Structural, immunocytochemical, and MR imaging properties of periventricular crossroads of growing cortical pathways in preterm infants. *American Journal of Neuroradiology*, 26(10), 2671–2684. <http://doi.org/26/10/2671> [pii]
- Junaid, K. A., & Fellowes, S. (2006). Gender differences in the attainment of motor skills on the Movement Assessment Battery for Children. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 26(1–2), 5–11. http://doi.org/doi.org/10.1080/J006v26n01_02
- Kanagasabai, S. P., Mohan, D., Lewis, L. E., Kamath, A., & Rao, B. K. (2013). Effect of Multisensory Stimulation on Neuromotor Development in Preterm Infants. *The Indian Journal of Pediatrics*, 80(6), 460–464. <http://doi.org/10.1007/s12098-012-0945-z>

- Kanemaru, N., Watanabe, H., Kihara, H., Nakano, H., Takaya, R., Nakamura, T., ... Konishi, Y. (2013). Specific characteristics of spontaneous movements in preterm infants at term age are associated with developmental delays at age 3 years. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(8), n/a-n/a. <http://doi.org/10.1111/dmcn.12156>
- Karmiloff-Smith, A. (2009). Nativism versus neuroconstructivism: Rethinking the study of developmental disorders. *Developmental Psychology*, 45(1), 56–63. <http://doi.org/10.1037/a0014506>
- Khazipov, R., & Milh, M. (2018). Early patterns of activity in the developing cortex: Focus on the sensorimotor system. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 76, 120–129. <http://doi.org/10.1016/J.SEMCDB.2017.09.014>
- Kiphard, E. J., & Schilling, F. (2007). *Körperkoordinationstest für kinder: KTK*. Beltz-Test.
- Klam, F. (2003). *Etude de la représentation de l'espace tridimensionnel dans le cortex pariétal chez le macaque vigile : approche électrophysiologique et modélisation*. Paris VI.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Mankinen, J. M. (2005). Visual and haptic exploratory procedures in children's judgments about tool function. *Infant Behavior and Development*, 28(3 SPEC. ISS.), 240–249. <http://doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.05.002>
- Klatzky, R., & Lederman, S. (1987). There's more to touch than meets the eye: The salience of object attributes for haptics with and without vision. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(4), 356.
- Kloeckner, A. (2008). Apports en néonatalogie de la sensorimotricité selon A. Bullinger. *Contraste*, N° 28-29(1), 157–178.
- Koenig-Zores, C., & Kuhn, P. (2016). Les unités de néonatalogie, un environnement inhospitalier ? Perceptions et attentes sensorielles du nouveau-né prématuré hospitalisé. *Revue de Médecine Périnatale*, 8(3), 141–148. <http://doi.org/10.1007/s12611-016-0374-8>
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). *NEPSY-II: Clinical and interpretive manual*. San Antonio: The Psychological Corporation.
- Korner, A. F., Schneider, P., & Forrest, T. (1983). Effects of vestibular-proprioceptive stimulation on the neurobehavioral development of preterm infants: a pilot study. *Neuropediatrics*, 14(3), 170–175. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1059573>

- Kostović, I., Petanjek, Z., Delalle, I., & Judaš, M. (1992). Developmental reorganization of the human association cortex during perinatal and postnatal life. In *Neurodevelopment, Aging and Cognition* (pp. 3–17). Boston, MA: Birkhäuser Boston. http://doi.org/10.1007/978-1-4684-6805-2_1
- Kuhn, P. (2012). *Etude de la sensibilité auditive du nouveau-né grand prématuré aux stimulations sonores issues de son environnement*. Strasbourg.
- Kuhn, P., Zores, C., Astruc, D., Dufour, A., & Casper, C. (2011). Développement sensoriel des nouveau-nés grands prématurés et environnement physique hospitalier. *Archives de Pédiatrie*, 18, S92–S102. [http://doi.org/10.1016/S0929-693X\(11\)71097-1](http://doi.org/10.1016/S0929-693X(11)71097-1)
- Kuniyoshi, Y. (2016). Constructive Developmental Science: A Trans-Disciplinary Approach Toward the Fundamentals of Human Cognitive Development and Its Disorders, Centered Around Fetus Simulation. *Robotics Research*, 291–303. http://doi.org/10.1007/978-3-319-28872-7_17
- LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, 96(1), 101–124. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.96.1.101>
- Lambert, J., & Bard, C. (2005). Acquisition of visuomanual skills and improvement of information processing capacities in 6- to 10-year-old children performing a 2D pointing task. *Neuroscience Letters*, 377(1), 1–6. <http://doi.org/10.1016/J.NEULET.2004.11.058>
- Larroque, B., Ancel, P.-Y., Marret, S., Marchand, L., André, M., Arnaud, C., ... Kaminski, M. (2008). Neurodevelopmental disabilities and special care of 5-years-old children born before 33 weeks of gestation (the EPIPAGE study): a longitudinal cohort study. *The Lancet*, 371(2), 813–820.
- Larroque, B., Ancel, P. Y., Marchand-Martin, L., Cambonie, G., Fresson, J., Pierrat, V., ... Group, the E. S. (2011). Special care and school difficulties in 8-year-old very preterm children: The Epipage cohort study. *PLoS ONE*, 6(7). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0021361>
- Larroque, B., Breart, G., Kaminski, M., Dehan, M., Andre, M., Burguet, A., ... Truffert, P. (2004). Survival of very preterm infants: Epipage, a population based cohort study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 89(2), F139–44. <http://doi.org/10.1136/adc.2002.020396>
- Lecanuet, J.-P., Granier-Deferre, C., & Schaal, B. (1993). Continuité sensorielle transnatale. In V. POUTHAS & F. JOUEN (Eds.), *Les comportements du bébé: expression de son savoir*. (pp. 33–52).

Bibliographie

- Lecanuët, J.-P., & Schaal, B. (1996). Fetal sensory competencies. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 68, 1–23. [http://doi.org/10.1016/0301-2115\(96\)02509-2](http://doi.org/10.1016/0301-2115(96)02509-2)
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19(3), 342–368. [http://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90008-9](http://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90008-9)
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1993). Extracting object properties through haptic exploration. *Acta Psychologica*, 84(1), 29–40. [http://doi.org/10.1016/0001-6918\(93\)90070-8](http://doi.org/10.1016/0001-6918(93)90070-8)
- Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15(3), 529–532. <http://doi.org/10.3758/BF03199297>
- Lejeune, F. (2010). *Perception manuelle de la forme des objet chez les enfants prématurés en période néonatale*. Université de Grenoble.
- Lejeune, F., Audeoud, F., Marcus, L., Streri, A., Debillon, T., Gentaz, E., ... Gentaz, E. (2010). The Manual Habituation and Discrimination of Shapes in Preterm Human Infants from 33 to 34+6 Post-Conceptional Age. *PLoS ONE*, 5(2), e9108. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0009108>
- Leroy, F. (2011). *Etude méthodologique et structurale du développement cérébral en IRM: application aux aires du langage dans une population de nourrissons*. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- Lewkowicz, D. J. (2000). The development of intersensory temporal perception: An epigenetic systems/limitations view. *Psychological Bulletin*, 126(2), 281–308. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.281>
- Lewkowicz, D. J. (2012). The unexpected effects of experience on the development of multisensory perception in primates. In A. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory Development* (Oxford Uni, pp. 159–182). Oxford.
- Lewkowicz, D. J., & Turkewitz, G. (1981). Intersensory Interaction in Newborns: Modification of Visual Preferences Following Exposure to Sound. *Child Development*, 52(3), 827. <http://doi.org/10.2307/1129083>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., Hannay, J. H., & Fisher, J. S. (2004). *Neuropsychological Assessment* (4th ed.). New-York: Oxford University Press.
- Lickliter, R. (1990). Premature visual stimulation accelerates intersensory functioning in bobwhite quail neonates. *Developmental Psychobiology*, 23(1), 15–27. <http://doi.org/10.1002/dev.420230103>

- Lickliter, R. (2000a). Atypical perinatal sensory stimulation and early perceptual development: insights from developmental psychobiology. *Journal of Perinatology*, 20, S45–S54. <http://doi.org/10.1038/sj.jp.7200450>
- Lickliter, R. (2000b). The role of sensory stimulation in perinatal development: insights from comparative research for care of the high-risk infant. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 21(6), 437–447. <http://doi.org/10.1097/00004703-200012000-00006>
- Lickliter, R. (2011). The integrated development of sensory organization. *Clinics in Perinatology*, 38(4), 591–603. <http://doi.org/10.1016/j.clp.2011.08.007>
- Lickliter, R., & Bahrick, L. E. (2000). The development of infant intersensory perception: Advantages of a comparative convergent-operations approach. *Psychological Bulletin*, 126(2), 260–280. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.260>
- Liebhardt, G., Sontheimer, D., & Linderkamp, O. (2000). Visual-motor function of very low birth weight and full-term children at 312 to 4 years of age. *Early Human Development*, 57(1), 33–47. [http://doi.org/10.1016/S0378-3782\(99\)00056-0](http://doi.org/10.1016/S0378-3782(99)00056-0)
- Lindström, K., Lindblad, F., & Hjern, A. (2011). Preterm Birth and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Schoolchildren. *Pediatrics*, 127(5). <http://doi.org/10.1542/peds.2010-1279>
- Linsell, L., Malouf, R., Morris, J., Kurinczuk, J. J., & Marlow, N. (2017). Risk Factor Models for Neurodevelopmental Outcomes in Children Born Very Preterm or With Very Low Birth Weight: A Systematic Review of Methodology and Reporting. *American Journal of Epidemiology*, 185(7), 601–612. <http://doi.org/10.1093/aje/kww135>
- Lobjois, R., Benguigui, N., & Bertsch, J. (2005). Aging and Tennis Playing in a Coincidence-Timing Task With an Accelerating Object. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 76(4), 398–406. <http://doi.org/10.1080/02701367.2005.10599312>
- Loomis, J. M., & Lederman, S. J. (1986). Tactual perception. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*, Vol. 2. *Cognitive processes and performance* (John Wiley & Sons, pp. 1–41). Oxford, England.
- Luyat, M., & Regia-Corte, T. (2009). Les affordances: de James Jerome Gibson aux formalisations récentes du concept. *Année Psychologique*, 109(2), 297–332. <http://doi.org/10.4074/S000350330900205X>
- Ma, L., Yang, B., Meng, L., Wang, B., Zheng, C., & Cao, A. (2015). Effect of early intervention on premature infants' general movements. *Brain and Development*, 37(4), 387–393. <http://doi.org/10.1016/j.braindev.2014.07.002>

- Macmillan, N. A., & Creelman, D. C. (2005). *Detection Theory: A User's Guide*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Maitre, N. L., Key, A. P., Chorna, O. D., Slaughter, J. C., Matusz, P. J., Wallace, M. T., & Murray, M. M. (2017). The Dual Nature of Early-Life Experience on Somatosensory Processing in the Human Infant Brain. *Current Biology*, 27(7), 1048–1054. <http://doi.org/10.1016/J.CUB.2017.02.036>
- Maitre, N. L., Slaughter, J. C., & Aschner, J. L. (2013). Early prediction of cerebral palsy after neonatal intensive care using motor development trajectories in infancy. *Early Human Development*, 89(10), 781–786. <http://doi.org/10.1016/J.EARLHUMDEV.2013.06.004>
- Mallek, M., Benguigui, N., Dicks, M., & Thouvarecq, R. (2017). Sport expertise in perception–action coupling revealed in a visuomotor tracking task. *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1270–1278. <http://doi.org/10.1080/17461391.2017.1375014>
- Marcus, L., Lejeune, F., Berne-Audéoud, F., Gentaz, E., & Debillon, T. (2012). Tactile Sensory Capacity of the Preterm Infant: Manual Perception of Shape From 28 Gestational Weeks. *Pediatrics*, 130(1). <http://doi.org/10.1542/peds.2011-3357>
- Marret, S. (2007). Plasticité cérébrale chez le prématuré. *Archives de Pédiatrie*, 14(6), 519–521. <http://doi.org/10.1016/j.arcped.2007.02.012>
- Marret, S., Chollat, C., de Quelen, R., Pinto Cardoso, G., Abily-Donval, L., Chadie, A., ... Ancel, P. Y. (2015). Parcours et développement neurologique et comportemental de l'enfant prématuré. *Archives de Pédiatrie*, 22(2), 195–202. <http://doi.org/10.1016/j.arcped.2014.11.016>
- Math, F., Kahn, J.-P., & Vignal, J.-P. (2008). *Neurosciences cliniques : De la perception aux troubles du comportement*. Bruxelles: De Boeck.
- Mazeau, M. (2000). Troubles neurovisuels et praxiques : un élément déterminant du pronostic à long terme. *Médecine Thérapeutique / Pédiatrie*, 3(4), 273–80.
- Ment, L. R., Kesler, S., Vohr, B., Katz, K. H., Baumgartner, H., Schneider, K. C., ... Reiss, A. L. (2009). Longitudinal Brain Volume Changes in Preterm and Term Control Subjects During Late Childhood and Adolescence. *Pediatrics*, 123(2), 503–511. <http://doi.org/10.1542/peds.2008-0025>
- Meredith, M. A., Nemitz, J. W., & Stein, B. E. (1987). Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. Temporal factors. *The Journal of Neuroscience*, 7(10), 3215–29. <http://doi.org/citeulike-article-id:409430>

- Mergner, T., & Rosemeier, T. (1998). Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions - A conceptual model. *Brain Research Reviews*, 28(1–2), 118–135. [http://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00032-0](http://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00032-0)
- Mewes, A. U. J., Hueppi, P. S., Als, H., Rybicki, F. J., Inder, T. E., McAnulty, G. B., ... Warfield, S. K. (2006). Regional brain development in serial magnetic resonance imaging of low-risk preterm infants. *American Academy of Pediatrics*, 118(1), 23–33. <http://doi.org/10.1542/peds.2005-2675>
- Meyer, C., Witte, J., Hildmann, A., Hennecke, K. H., Schunck, K. U., Maul, K., ... Lang, D. (1999). Neonatal screening for hearing disorders in infants at risk: incidence, risk factors, and follow-up. *Pediatrics*, 104(4), 900–904. <http://doi.org/10.1542/peds.101.2.221>
- Michel, G. F. (2001). A developmental-psychobiological approach to developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 19(1), 11–32. http://doi.org/10.1207/S15326942DN1901_2
- Milner, A. D., & Bryant, P. E. (1970). Cross-modal matching by young children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 71(3), 453–458. <http://doi.org/10.1037/h0029174>
- Miyagishima, S., Asaka, T., Kamatsuka, K., Kozuka, N., Kobayashi, M., Igarashi, L., ... Tsutsumi, H. (2018). Spontaneous movements of preterm infants is associated with outcome of gross motor development. *Brain and Development*. <http://doi.org/10.1016/j.braindev.2018.04.007>
- Molina, M., & Jouen, F. (2001). Modulation of manual activity by vision in human newborns. *Developmental Psychobiology*, 38(2), 123–132. [http://doi.org/10.1002/1098-2302\(200103\)38:2<123::AID-DEV1005>3.0.CO;2-O](http://doi.org/10.1002/1098-2302(200103)38:2<123::AID-DEV1005>3.0.CO;2-O)
- Molina, M., Sann, C., David, M., Touré, Y., Guillois, B., & Jouen, F. (2015). Active touch in late-preterm and early-term neonates. *Developmental Psychobiology*, 57(3), 322–335. <http://doi.org/10.1002/dev.21295>
- Moriette, G., Rameix, S., Azria, E., Fournié, A., Andrini, P., Caeymaex, L., ... Siméoni, U. (2010). Naissances très prématurées : dilemmes et propositions de prise en charge. Première partie : pronostic des naissances avant 28 semaines, identification d'une zone « grise ». *Archives de Pédiatrie*, 17(5), 518–526. <http://doi.org/10.1016/J.ARCPED.2009.09.025>

- Moster, D., Lie, R. T., & Markestad, T. (2008). Long-Term Medical and Social Consequences of Preterm Birth. *New England Journal of Medicine*, 359(3), 262–273. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa0706475>
- Niel-Bernard, D. V. (2011). Troubles visuo-spatiaux de l'enfant né prématurément. *Développements*, 7(1), 47. <http://doi.org/10.3917/devel.007.0047>
- Nishimura, T., Takei, N., Tsuchiya, K. J., Asano, R., & Mori, N. (2016). Identification of neurodevelopmental trajectories in infancy and of risk factors affecting deviant development: A longitudinal birth cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 45(2), 543–553. <http://doi.org/10.1093/ije/dyv363>
- Norman, J. F., Clayton, A. M., Norman, H. F., & Crabtree, C. E. (2008). Learning to perceive differences in solid shape through vision and touch. *Perception*, 37(2), 185–196. <http://doi.org/10.1068/p5679>
- Norman, J. F., Norman, H. F., Clayton, A. M., Lianekhammy, J., & Zielke, G. (2004). The visual and haptic perception of natural object shape. *Perception & Psychophysics*, 66(2), 342–351. <http://doi.org/10.3758/BF03194883>
- Norman, J. F., Phillips, F., Holmin, J. S., Norman, H. F., Beers, A. M., Boswell, A. M., ... Ronning, C. (2012). Solid shape discrimination from vision and haptics: Natural objects (*Capsicum annuum*) and Gibson's "feelies." *Experimental Brain Research*, 222(3), 321–332. <http://doi.org/10.1007/s00221-012-3220-7>
- O'Connor, A. R., Stephenson, T. J., Johnson, A., Tobin, M. J., Ratib, S., & Fielder, A. R. (2002). Strabismus in Children of Birth Weight Less Than 1701 g. *Archives of Ophthalmology*, 120(6), 767. <http://doi.org/10.1001/archophth.120.6.767>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [http://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](http://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Olsen, J. E., Brown, N. C., Eeles, A. L., Lee, K. J., Anderson, P. J., Cheong, J. L. Y., ... Spittle, A. J. (2015). Trajectories of general movements from birth to term-equivalent age in infants born. *Early Human Development*, 91(12), 683–688. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.09.009>
- Olsén, P., Pääkkö, E., Vainionpää, L., Pyhtinen, J., & Järvelin, M.-R. (1997). Magnetic resonance imaging of periventricular leukomalacia and its clinical correlation in children. *Annals of Neurology*, 41(6), 754–761. <http://doi.org/10.1002/ana.410410611>
- OMS | Les naissances prématurées. (2015). *WHO*.

- Oudgenoeg-Paz, O., Mulder, H., Jongmans, M. J., Van der Ham, I. J. M., & Van der Stigchel, S. (2017). The link between motor and cognitive development in children born preterm and/or with low birth weight: A review of current evidence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 382–393. <http://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2017.06.009>
- Oulhaj, N. (2016). *Etude de l'attention dynamique et des effets de l'expertise dans la tâche de poursuite d'objets multiples avec accélération*. Caen Normandie.
- Paillard, J. (1994). L'intégration sensori-motrice et idéo-motrice. *Traité de Psychologie Expérimentale*, 1, 925–996.
- Palmer, P., Dubowitz, L. M., Verghote, M., & Dubowitz, V. (1982). Neurological and Neurobehavioural Differences Between Preterm Infants at Term and Full-Term Newborn Infants. *Neuropediatrics*, 13(04), 183–189. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1059620>
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor Integration in Human Postural Control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3). <http://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
- Petkovic, M., Chokron, S., & Fagard, J. (2016). Visuo-manual coordination in preterm infants without neurological impairments. *Research in Developmental Disabilities*, 51–52, 76–88. <http://doi.org/10.1016/J.RIDD.2016.01.010>
- Petrini, J. R., Dias, T., McCormick, M. C., Massolo, M. L., Green, N. S., & Escobar, G. J. (2009). Increased risk of adverse neurological development for late preterm infants. *The Journal of Pediatrics*, 154(2), 169–76. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2008.08.020>
- Pietz, J., Peter, J., Graf, R., Rauterberg-Ruland, I., Rupp, A., Sontheimer, D., & Linderkamp, O. (2004). Physical growth and neurodevelopmental outcome of nonhandicapped low-risk children born preterm. *Early Human Development*, 79(2), 131–143. <http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2004.05.001>
- Pin, T. W., Darrer, T., Eldridge, B., & Galea, M. P. (2009). Motor development from 4 to 8 months corrected age in infants born at or less than 29 weeks' gestation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51(9), 739–745. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03265.x>
- Plaisier, A., Govaert, P., Lequin, M. H., & Dudink, J. (2014). Optimal timing of cerebral MRI in preterm infants to predict long-term neurodevelopmental outcome: A systematic review. *American Journal of Neuroradiology*, 35(5), 841–847. <http://doi.org/10.3174/ajnr.A3513>

- Potharst, E. S., Van Wassenaer, A. G., Houtzager, B. A., van Hus, J. W. P., Last, B. F., & Kok, J. H. (2011). High Incidence of Multi-Domain Disabilities in Very Preterm Children at Five Years of Age. *The Journal of Pediatrics*, 159(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/J.JPEDS.2010.12.055>
- Potharst, E. S., Van Wassennaer-Leemhuis, A. G., Houtzager, B. A., Livesey, D., Kok, J. H., Last, B. F., & Oosterlaan, J. (2013). Perinatal risk factors for neurocognitive impairments in preschool children born very preterm. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(2), 178–184. <http://doi.org/10.1111/dmcn.12018>
- Potijk, M. R., Kerstjens, J. M., Bos, A. F., Reijneveld, S. A., & de Winter, A. F. (2013). Developmental Delay in Moderately Preterm-Born Children with Low Socioeconomic Status: Risks Multiply. *The Journal of Pediatrics*, 163(5), 1289–1295. <http://doi.org/10.1016/J.JPEDS.2013.07.001>
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(9), 956–966. <http://doi.org/10.1109/10.532130>
- Purpura, G., Cioni, G., & Tinelli, F. (2018). Development of visuo-haptic transfer for object recognition in typical preschool and school-aged children. *Child Neuropsychology*, 24(5), 657–670. <http://doi.org/10.1080/09297049.2017.1316974>
- Puthussery, S., Chutiyami, M., Tseng, P.-C., Kilby, L., & Kapadia, J. (2018). Effectiveness of early intervention programs for parents of preterm infants: a meta-review of systematic reviews. *BMC Pediatrics*, 18(1), 223. <http://doi.org/10.1186/s12887-018-1205-9>
- Putzar, L., Goerendt, I., Lange, K., Rösler, F., & Röder, B. (2007). Early visual deprivation impairs multisensory interactions in humans. *Nature Neuroscience*, 10(10), 1243–1245. <http://doi.org/10.1038/nn1978>
- Quittner, A. L., Smith, L. B., Osberger, M. J., Mitchell, T. V., & Katz, D. B. (1994). The Impact of Audition on the Development of Visual Attention. *Psychological Science*, 5(6), 347–353. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00284.x>
- Rahkonen, P., Lano, A., Pesonen, A. K., Heinonen, K., Räikkönen, K., Vanhatalo, S., ... Metsäranta, M. (2015). Atypical sensory processing is common in extremely low gestational age children. *Acta Paediatrica*, 104(5), 522–528. <http://doi.org/10.1111/apa.12911>

- Ramdani, S., Seigle, B., Varoqui, D., Bouchara, F., Blain, H., & Bernard, P. L. (2011). Characterizing the Dynamics of Postural Sway in Humans Using Smoothness and Regularity Measures. *Annals of Biomedical Engineering*, 39(1), 161–171. <http://doi.org/10.1007/s10439-010-0137-9>
- Roebers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175–181. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x>
- Rose, S. A., Blank, M. S., & Bridger, W. H. (1972). Intermodal and intramodal retention of visual and tactual information in young children. *Developmental Psychology*, 6(3), 482–486. <http://doi.org/10.1037/h0032579>
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Futterweit, L. R., & Jankowski, J. J. (1998). Continuity in tactual–visual cross-modal transfer: Infancy to 11 years. *Developmental Psychology*, 34(3), 435–440. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.34.3.435>
- Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1978). Cross-modal transfer in infants: relationship to prematurity and socioeconomic background. *Developmental Psychology*, 14(6), 643–652. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.14.6.643>
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., ... Jacobsson, B. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine and Child Neurology. Supplement*, 109, 8–14.
- Rudel, R. G., & Teuber, H.-L. (1964). Crossmodal transfer of shape discrimination by children. *Neuropsychologia*, 2(1), 1–8. [http://doi.org/10.1016/0028-3932\(64\)90028-4](http://doi.org/10.1016/0028-3932(64)90028-4)
- Rutter, M. (1989). Pathways from Childhood to Adult Life. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 30(1), 23–51. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1989.tb00768.x>
- Rutter, M., & Sroufe, L. A. (2000). Developmental psychopathology: Concepts and challenges. *Development and Psychopathology*, 12(3), S0954579400003023. <http://doi.org/10.1017/S0954579400003023>
- Sann, C., & Streri, A. (2007). Perception of object shape and texture in human newborns: evidence from cross-modal transfer tasks. *Developmental Science*, 10(3), 399–410. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00593.x>
- Sayeur, M. S., McKerral, M., & Lassonde, M. (2011). Les troubles cognitifs, comportementaux et d'apprentissage chez les enfants nés prématurément : une revue de littérature. *Neuropsychologia Latinoamericana*, 3(2).

- Schneider, C., Nadeau, L., Bard, C., Lambert, J., Majnemer, A., Malouin, F., ... Tessier, R. (2008). Visuo-motor coordination in 8-year-old children born pre-term before and after 28 weeks of gestation. *Developmental Neuropsychology*, 11(3), 215–24. <http://doi.org/10.1080/17518420801887547>
- Seitz, J., Jenni, O. G., Molinari, L., Caflisch, J., Largo, R. H., & Latal Hajnal, B. (2006). Correlations between motor performance and cognitive functions in children born < 1250 g at school age. *Neuropediatrics*, 37(1), 6–12. <http://doi.org/10.1055/s-2006-923840>
- Sloan, W. (1955). The Lincoln-Oseretsky Motor Development Scale. *Genetic Psychology Monographs*, 51, 183–252.
- Smits-Engelman, B., Jover, M., Green, D., Ferguson, G., & Wilson, P. (2017). DCD and comorbidity in neurodevelopmental disorder: How to deal with complexity? *Human Movement Science*, 53, 1–4. <http://doi.org/10.1016/j.humov.2017.02.009>
- Sparto, P. J., Redfern, M. S., Jasko, J. G., Casselbrant, M. L., Mandel, E. M., & Furman, J. M. (2006). The influence of dynamic visual cues for postural control in children aged 7–12 years. *Experimental Brain Research*, 168(4), 505–516. <http://doi.org/10.1007/s00221-005-0109-8>
- Sroufe, L. A. (1997). Psychopathology as an outcome of development. *Development and Psychopathology*, 9, 251–268. <http://doi.org/10.1017/S0954579497002046>
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal Movement Variability. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <http://doi.org/10.1097/01.NPT.0000281949.48193.d9>
- Stins, J. F., Ledebt, A., Emck, C., van Dokkum, E. H., & Beek, P. J. (2009). Patterns of postural sway in high anxious children. *Behavioral and Brain Functions*, 5(1), 42. <http://doi.org/10.1186/1744-9081-5-42>
- Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(02), 195–213. <http://doi.org/10.1017/S0140525X01003946>
- Stoltz-Loike, M., & Bornstein, M. H. (1987). The roles of imagery, language, and metamemory in cross-modal transfer in children. *Psychological Research*, 49(1), 63–68. <http://doi.org/10.1007/BF00309204>
- Streri, A. (2012). Crossmodal interactions in the human newborn. In A. J. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory Development* (Oxford Uni, pp. 88–112). Oxford, England.

- Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. *Somatosensory & Motor Research*, 20(1), 13–18. <http://doi.org/10.1080/0899022031000083799>
- Streri, A., & Gentaz, E. (2004). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handedness in human newborns. *Neuropsychologia*, 42(10), 1365–1369. <http://doi.org/10.1016/J.NEUROPSYCHOLOGIA.2004.02.012>
- Sweeney, J., & Gutierrez, T. (2002). Musculoskeletal implications of preterm infant positioning in the NICU. *The Journal of Perinatal & Neonatal Nursing*, 16(1), 58–70.
- Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(9), 400–10. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2010.06.008>
- Taylor-Clarke, M., Kennett, S., & Haggard, P. (2002). Vision modulates somatosensory cortical processing. *Current Biology*, 12(3), 233–236. [http://doi.org/10.1016/S0960-9822\(01\)00681-9](http://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00681-9)
- Taylor, H. G., Minich, N., Bangert, B., Filipek, P. A., & Hack, M. (2004). Long-term neuropsychological outcomes of very low birth weight: Associations with early risks for periventricular brain insults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(07), 987–1004. <http://doi.org/10.1017/S1355617704107078>
- Toledo, A. ., & Tudella, E. (2008). The development of reaching behavior in low-risk preterm infants. *Infant Behavior and Development*, 31(3), 398–407. <http://doi.org/10.1016/J.INFBEH.2007.12.006>
- Torchin, H., Ancel, P.-Y., Jarreau, P.-H., & Goffinet, F. (2015). Épidémiologie de la prématurité : prévalence, évolution, devenir des enfants. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de La Reproduction*, 44(8), 723–731. <http://doi.org/10.1016/J.JGYN.2015.06.010>
- Torrioli, M. G., Frisone, M. F., Bonvini, L., Luciano, R., Pasca, M. G., Lepori, R., ... Guzzetta, F. (2000). Perceptual-motor, visual and cognitive ability in very low birthweight preschool children without neonatal ultrasound abnormalities. *Brain and Development*, 22(3), 163–168. [http://doi.org/10.1016/S0387-7604\(00\)00098-X](http://doi.org/10.1016/S0387-7604(00)00098-X)
- Touwen, B. C. L., & Sporrel, T. (1979). Soft Sign and MBD. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 21(4), 528–530. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1979.tb01658.x>
- Trounce, J. Q., Rutter, N., & Levene, M. I. (1986). Periventricular leucomalacia and intraventricular haemorrhage in the preterm neonate. *Archives of Disease in Childhood*, 61(12), 1196–202. <http://doi.org/10.1136/ADC.61.12.1196>

- Turkewitz, G., & Kenny, P. A. (1982). Limitations on input as a basis for neural organization and perceptual development: A preliminary theoretical statement. *Developmental Psychobiology*, 15(4), 357–368. <http://doi.org/10.1002/dev.420150408>
- Turkewitz, G., & Mellon, R. C. (1989). Dynamic organization of intersensory function. *Canadian Journal of Psychology*, 43(2), 286–301. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2486500>
- Vaivre-Douret, L. (2007). Troubles d'apprentissage non verbal : les dyspraxies développementales. *Archives de Pédiatrie*, 14(11), 1341–1349. <http://doi.org/10.1016/j.arcped.2007.06.034>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011). Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 59(8), 443–453. <http://doi.org/10.1016/j.neurenf.2011.07.006>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., & Golse, B. (2016). Developmental Coordination Disorder, An Umbrella Term for Motor Impairments in Children: Nature and Co-Morbid Disorders. *Frontiers in Psychology*, 7, 502. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00502>
- Van Beers, R. J., Sittig, A. C., & Denier Van Der Gon, J. J. (1998). The precision of proprioceptive position sense. *Experimental Brain Research*, 122(4), 367–377. <http://doi.org/10.1007/s002210050525>
- Van Braeckel, K., Butcher, P., Geuze, R., Bos, A. F., & Bouma, A. (2008). Less efficient elementary visuomotor processes in 7-to 10-year-old preterm-born children without cerebral palsy: An indication of impaired dorsal stream processes. *Neuropsychology*, 22(6), 755–764. <http://doi.org/10.1037/a0013212>
- Van Braeckel, K., Butcher, P. R., Geuze, R. H., Van Duijn, M. A. J., Bos, A. F., & Bouma, A. (2010). Difference rather than delay in development of elementary visuomotor processes in children born preterm without cerebral palsy: A quasi-longitudinal study. *Neuropsychology*, 24(1), 90–100. <http://doi.org/10.1037/a0016804>
- Van Hus, J. W., Potharst, E. S., Jeukens-Visser, M., Kok, J. H., & Van Wassenae-Leemhuis, A. G. (2014). Motor impairment in very preterm-born children: Links with other developmental deficits at 5 years of age. *Developmental Medicine and Child Neurology*. <http://doi.org/10.1111/dmcn.12295>

- van Roon, D., Caeyenberghs, K., Swinnen, S. P., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2008). Development of Feedforward Control in a Dynamic Manual Tracking Task. *Child Development*, 79(4), 852–865. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2008.01163.x>
- Vecera, S. P., & Farah, M. J. (1994). Does visual attention select objects or locations? *Journal of Experimental Psychology. General*, 123(2), 146–60.
- Vicari, S., Caravale, B., Carlesimo, G. A., Casadei, A. M., & Allemand, F. (2004). Spatial working memory deficits in children at ages 3– 4 who were low birth weight, preterm infants. *Neuropsychology*, 18(4), 673–678. <http://doi.org/10.1037/0894-4105.18.4.673>
- Vogel, J. P., Chawanpaiboon, S., Moller, A.-B., Watananirun, K., Bonet, M., & Lumbiganon, P. (2018). The global epidemiology of preterm birth. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*. <http://doi.org/10.1016/J.BPOBGYN.2018.04.003>
- Volpe, J. J. (2009). Brain injury in premature infants: a complex amalgam of destructive and developmental disturbances. *The Lancet Neurology*, 8(1), 110–124. [http://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70294-1](http://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70294-1)
- von Hofsten, C. (1980). Predictive reaching for moving objects by human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30(3), 369–382. [http://doi.org/10.1016/0022-0965\(80\)90043-0](http://doi.org/10.1016/0022-0965(80)90043-0)
- Von Hofsten, C. (1993). Prospective control: A basic aspect of action development. *Human Development*, 36(5), 253–270. <http://doi.org/10.1159/000278212>
- Wagman, J. B., & Miller, D. B. (2003). Nested reciprocities: The organism–environment system in perception–action and development. *Developmental Psychobiology*, 42(4), 317–334. <http://doi.org/10.1002/dev.10114>
- Wallace, M. T., Ghose, D., Nidiffer, A. R., Fister, M. C., & Fister, J. K. (2012). Development of multisensory integration in subcortical and cortical brain networks. In A. J. Bremner, D. J. Lewkowicz, & C. Spence (Eds.), *Multisensory Development* (Oxford Uni, pp. 325–341). Oxford.
- Wang, S.-J., Chen, C.-N., Hsieh, W.-S., & Young, Y.-H. (2008). Development of Vestibular Evoked Myogenic Potentials in Preterm Neonates. *Audiology and Neurotology*, 13(3), 145–152. <http://doi.org/10.1159/000112422>
- Warren, I. (2002). Facilitating infant adaptation: The nursery environment. *Seminars in Neonatology*, 7(6), 459–467. <http://doi.org/10.1053/siny.2002.0151>

- Wassenberg, R., Kessels, A. G. H., Kalff, A. C., Hurks, P. P. M., Jolles, J., Feron, F. J. M., ... Vles, J. S. H. (2005). Relation between cognitive and motor performance in 5- To 6-year-old children: Results from a large-scale cross-sectional study. *Child Development*, 76(5), 1092–1103. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00899.x>
- Weindling, M. (2010). Clinical aspects of brain injury in the preterm infant. In H. Lagercrantz, M. A. Hanson, L. R. Ment, & D. M. Peebles (Eds.), *The Newborn Brain* (2th ed., pp. 301–327). Cambridge: Cambridge University Press.
- Wenar, C., & Kerig, P. (2011). *Developmental psychopathology: From infancy through adolescence*. (McGraw-Hill Internationak Edition, Ed.) (Fith). New-York: McGraw-Hill Education.
- White, T. P., Symington, I., Castellanos, N. P., Brittain, P. J., Froudish Walsh, S., Nam, K.-W., ... Nosarti, C. (2014). Dysconnectivity of neurocognitive networks at rest in very-preterm born adults. *NeuroImage. Clinical*, 4, 352–65. <http://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.01.005>
- Williams, J., Lee, K. J., & Anderson, P. J. (2009). Prevalence of motor-skill impairment in preterm children who do not develop cerebral palsy: A systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 52(3), 232–237. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03544.x>
- Wrotniak, B. H., Epstein, L. H., Dorn, J. M., Jones, K. E., & Kondilis, V. A. (2006). The relationship between motor proficiency and physical activity in children. *Pediatrics*, 118(6), e1758-65. <http://doi.org/10.1542/peds.2006-0742>
- Yamada, Y., Fujii, K., & Kuniyoshi, Y. (2013). Impacts of environment, nervous system and movements of preterms on body map development: Fetus simulation with spiking neural network. In *2013 IEEE Third Joint International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL)* (pp. 1–7). IEEE. <http://doi.org/10.1109/DevLrn.2013.6652548>
- Yamada, Y., Kanazawa, H., Iwasaki, S., Tsukahara, Y., Iwata, O., Yamada, S., & Kuniyoshi, Y. (2016). An Embodied Brain Model of the Human Foetus. *Scientific Reports*, 6, 27893. <http://doi.org/10.1038/srep27893>
- Yentes, J. M., Hunt, N., Schmid, K. K., Kaipust, J. P., McGrath, D., & Stergiou, N. (2013). The Appropriate Use of Approximate Entropy and Sample Entropy with Short Data Sets. *Annals of Biomedical Engineering*, 41(2), 349–365. <http://doi.org/10.1007/s10439-012-0668-3>

Bibliographie

- Zeitlin, J., Szamotulska, K., Drewniak, N., Mohangoo, A., Chalmers, J., Sakkeus, L., ...
Blondel, B. (2013). Preterm birth time trends in Europe: a study of 19 countries. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 120(11), 1356–1365.
<http://doi.org/10.1111/1471-0528.12281>

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les différents degrés de prématurité en fonction de l'âge gestationnel à la naissance et leurs pourcentages par rapport à l'ensemble des naissances survenues avant le terme. Données de Goldenberg, Culhane, Iams, et Romero (2008).

Figure 2. Estimations du taux de naissances prématurées dans le monde en 2010. Extrait de Blencowe, Cousens, Chou, et al. (2012).

Figure 3. Graphique représentant les taux de survie en fonction de l'âge gestationnel avec les intervalles de confiance à 95% pour les études EPIPAGE 1 et 2. Extrait de Ancel et al. (2015).

Figure 4. Graphique représentant le taux de survie sans morbidité néonatale sévère en 2011 en fonction du type de naissance. Extrait de Ancel et al. (2015).

Figure 5. « Classical Epigenetic Landscape » de Waddington (1942). La balle, représentant la cellule, se déplace vers l'un de ses devenir possibles (bas de l'image) sous l'influence de l'environnement via des processus épigénétiques. Extrait de Goldberg, Allis, et Bernstein (2007).

Figure 6. Schéma reprenant les interactions entre les différents niveaux se déroulant au cours du développement individuel. Extrait de Gottlieb (1991).

Figure 7. Trajectoires développementales présentées sous la forme de lignes courbes passant par des profils typiques et atypiques au cours du développement. Extrait de Kuniyoshi (2016).

Figure 8. Dispositif permettant une stimulation visuelle semblable dans le contexte d'un mouvement passif ou actif chez des chatons. Extrait de Held et Hein (1963).

Figure 9. Schéma synthétisant les multiples interactions complexes impliquées dans le développement d'un individu dans la période périnatale puis l'enfance. Extrait de Kuniyoshi (2016).

Figure 10. Distribution des scores pour les items évaluant la motricité dans les deux groupes de nouveau-nés (nés prématurés et nés à terme). Extrait de Ferrari et al. (1983).

Figure 11. Schémas des tests de traction (à gauche) et de suspension ventrale (à droite), ainsi que deux types de réponses comportementales (a : normal / b : hyper-extension). Extrait de de Groot, Hopkins, et Touwen (1995).

Figure 12. Proportions de nourrissons nés prématurés et nés à terme réussissant les items de l'AIMS à 4 mois et 8 mois (âge corrigé pour les nés prématurés). Extrait de Pin, Darrer, Eldridge, et Galea (2009).

Figure 13. Image en 4D d'un fœtus humain à gauche et le modèle informatique d'un fœtus au même stade de développement à droite. Extrait de Kuniyoshi (2016).

Figure 14. Nouveau-né avec une lordose cervicale exagérée et une hyperextension du cou, accentuée par la position de la sonde d'intubation facilitant la respiration. Extrait de Sweeney et Gutierrez (2002).

Figure 15. Pourcentage de profils perceptivo-moteur normaux, borderline et anormaux, en fonction du profil neuromoteur chez des enfants nés prématurés âgés de 6 ans. Données de Jongmans et al. (1997).

Figure 16. Arbre reprenant l'ensemble des chiffres de la sollicitation des familles jusqu'à l'inclusion des enfants nés à terme. Le code couleur du pourcentage indique à quel encadré il renvoie.

Figure 17. Arbre reprenant l'ensemble des chiffres de la sélection des familles à solliciter jusqu'à l'inclusion des enfants nés prématurés. Le code couleur du pourcentage indique à quel encadré il renvoie.

Figure 18. Déroulement temporel du protocole pour les enfants reçus à la MSRH

Figure 19. Déroulement temporel du protocole pour les enfants vus dans les écoles ; (a) année scolaire 2016-2017 ; (b) année scolaire 2017-2018

Figure 20. Photo de l'affiche utilisée comme support ludique tout au long du protocole pour les enfants reçus à la MSRH. Sur l'image on retrouve des exemples de personnages, les quatre animaux, les smileys et la coupe en haut à droite.

Figure 21. Deuxième page du livret personnel de chaque enfant vu dans les écoles

Figure 24. Graphique des performances (indice d') dans une tâche de reconnaissance d'objets en 3D dans différentes conditions (V : visuel, H : haptique) et au cours de différentes sessions. Extrait de Norman et al. (2004). Les deux étoiles indiquent les différences significatives au test pos-hoc de Fisher. Les barres d'erreur représentent ± 1 erreur standard.

Figure 25. Histogramme des scores moyens des enfants de 5 ans (barres blanches) et des enfants de 4 ans (barres rayées) pour les stimuli simples d'une tâche de reconnaissance d'objets dans différentes conditions (V : visuel, T : haptique). Extrait de Rudel et Teuber (1964).

Figure 26. Photos du matériel utilisé dans la tâche de discrimination perceptive. En haut, de gauche à droite : le tourne-disque (modalité visuelle), la boîte avec le tissu opaque (modalité haptique). En bas, de gauche à droite : un set de 12 stimuli et deux stimuli.

Figure 27. Photo d'un enfant effectuant la tâche de discrimination perceptive dans une condition intermodalitaire. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

Figure 28. Histogramme des valeurs moyennes de l'indice d' dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent à la condition significativement différente des autres.

Figure 29. Histogramme des valeurs moyennes de l'indice c dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent une différence statistiquement significative.

Figure 30. Histogramme des valeurs moyennes de la fréquence des HIT dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent à la condition significativement différente des autres.

Figure 31. Histogramme des valeurs moyennes de la fréquence des FA dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent la condition statistiquement différente des autres.

Figure 32. Histogramme des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes dans les différentes conditions de la tâche de discrimination. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives.

Figure 33. Histogramme des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes en fonction du type de réponse. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

Figure 34. Courbes des valeurs moyennes du temps de réponse en secondes en fonction du type de réponse et du groupe. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives entre les groupes. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

Figure 35. Distribution des temps de réponse aux FA en fonction des temps de réponse moyens pour les deux groupes d'enfants. Le rectangle indique le groupe d'enfant dont les temps de réponse aux FA sont élevés.

Figure 36. Histogramme des écart-standards des temps de réponse en secondes en fonction des conditions. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives.

Figure 37. Histogramme des écart-standards des temps de réponses en fonction des types de réponse. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences statistiquement significatives entre les groupes. Les bonnes réponses sont soulignées en bleu et les mauvaises réponses en rouge. Pour chaque type de réponse il est précisé si les objets sont identiques ou différents.

Figure 38. Schéma de la zone de poursuite dans laquelle l'effecteur en rouge (cercle) poursuit la cible (balle) en vert

Figure 39. Photo d'un enfant effectuant la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

Figure 40. Illustration des différents indices permettant de définir la période autour d'une perturbation et la période de poursuite libre. Le seuil α est ici de 25° . Extrait avec la permission de Mallek et al. (2017). $T_{\text{divergence}}$: temps de divergence ; $T_{\text{convergence}}$: temps de convergence ; T_{bounce} : temps du rebond ; v_{mt} : vecteur du mouvement de la balle ; v_e : vecteur du mouvement de l'effecteur ; b : balle ; α : angle α .

Figure 41. Histogramme des distances moyennes entre cible et effecteur en fonction des zones de poursuite. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles correspondent aux conditions significativement différentes des autres.

Figure 42. Histogramme des fréquences des réductions de l'écart entre cible et effecteur en fonction des zones de poursuite. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-type. Les deux étoiles correspondent aux conditions significativement différentes des autres.

Figure 43. Courbes des Fréquences des réductions de l'écart en fonction des zones de poursuite et du groupe. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-type. Les deux étoiles correspondent aux différences significatives entre les groupes.

Figure 44. Distribution des valeurs des Distances moyennes à la cible des deux groupes d'enfants en fonction des Distances moyennes à la cible prédite par le modèle 1. La droite représente la droite de tendance linéaire générale. Les deux groupes d'enfants entourés ont des profils se distinguant des autres.

Figure 45. Distribution des valeurs de la Distance moyenne entre l'effecteur et la cible en fonction des Distances moyennes à la cible prédite par le modèle 2. La droite représente la droite de tendance linéaire générale. Sont entourés deux groupes d'enfants qui ont des profils se distinguant des autres.

Figure 46. Distribution des valeurs des Distances moyennes à la cible des deux groupes d'enfants en fonction des Scores « Lancer-Attraper ». La droite représente la droite de tendance linéaire générale.

Figure 47. Histogramme des délais visuomoteurs en fonction du groupe d'enfants. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre deux groupes.

Figure 48. Histogramme des Fréquences des réductions de l'écart entre la cible et l'effecteur en fonction de la Zone de poursuite et du Groupe d'enfants. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 écart-standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre deux groupes.

Figure 49. Illustration du lien entre complexité, prédictibilité et santé. Extrait de Decker et al. (2010).

Figure 50. Modèle théorique de la relation entre les couplages perception-action et la complexité posturale. Chaque ligne représente une possibilité de couplage entre action et perception. Extrait de Dusing (2016).

Figure 51. Schéma de l'intérieur du dispositif de la chambre mobile dans le cas où la stimulation visuelle était présentée dans la partie centrale du champ visuel. Extrait de Bertenthal et Bai (1989).

Figure 52. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles chez des enfants de 6 à 8 ans. Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives. OKN : flux optocinétique, VVS : tâche d'évaluation de la verticale visuelle subjective, Fix : Point de fixation visuel, YC : yeux fermés. Extrait de Gaertner et al. (2013).

Figure 53. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles et en fonction des groupes (nés à terme vs. nés prématurés). Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives entre les conditions. OKN : flux optocinétique, VVS : tâche d'évaluation de la verticale visuelle subjective, Fix : Point de fixation visuel, YC : yeux bandés. Extrait de Bucci et al. (2015).

Figure 54. Vitesse moyenne des déplacements du CdP en fonction des conditions visuelles et de plateforme, ainsi qu'en fonction des groupes (nés à terme vs. nés prématurés). Les barres verticales indiquent les erreurs standards. Les deux étoiles indiquent des différences statistiquement significatives entre les groupes d'enfants. OPT : flux optocinétique, YO : yeux ouverts, YF : yeux fermés. Extrait de Bucci et al. (2017).

Figure 55. Schéma global du dispositif dans la salle d'expérimentation de la MSRH.

Figure 56. Photos d'une partie du dispositif comprenant la plateforme et la cabine d'affichage. La photo de droite illustre la participation d'un enfant. L'autorisation parentale sur la libre utilisation de l'image d'une personne mineure a été préalablement demandée par écrit.

Figure 57. Exemple d'un graphique proposé par le logiciel Win Posture représentant trois mesures de posturographie d'un enfant. Rouge : condition « yeux bandés » ; Bleu : condition « bandes statiques » ; Vert : condition « bande dynamique ».

Figure 58. Histogramme des RMS en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

Figure 59. Courbes des vitesses moyennes dans la direction ML en fonction des conditions et du groupe. Les valeurs des vitesses moyennes sont indiquées sur le graphique. Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre les groupes.

Figure 60. Histogramme des vitesses moyennes en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent des différences significatives entre les conditions.

Figure 61. Histogramme des dispersions fréquentielles en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

Figure 62. Histogramme des Sample Entropy en fonction de la direction et de la condition de la tâche d'équilibre statique. Chaque direction est représentée par une couleur (ML : bleu, AP : vert). Les barres d'erreur correspondent à ± 1 erreur standard. Les deux étoiles indiquent les différences significatives entre les conditions.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Évolution du nombre de naissances prématurées en fonction de l'âge gestationnel en France entre 1995 et 2003. Données de Blondel et al. (2006).

Tableau 2. Émergence anatomique et fonctionnelle des systèmes sensorielles durant la gestation et la période périnatale. Données de Bremner, Lewkowicz, et Spence (2012) et Lecanuet, Granier-Deferre, et Schaal (1993).

Tableau 3. Classification des MG en fonction de la complexité, de la variation et de la fluidité. Les significations des signes « + » et « - » sont détaillés dans les légendes sous le tableau. Copié de Hadders-Algra (2004).

Tableau 4. Pourcentages de consommation, d'au moins une consultation entre 5 et 8 ans, par type de soins dans la cohorte EPIPAGE 1. Données de Torchin et al. (2015).

Tableau 5. Critères de diagnostic du TAC selon le DSM-V. Extrait et traduit de American Psychiatric Association (2013).

Tableau 6. Nombre d'enfants nés prématurés sans paralysie cérébrale (n=156) avec des scores anormaux, borderline et normaux, au VMI et à la M-ABC. Données de Jongmans et al., (1997).

Tableau 7. Distribution des résultats des enfants nés prématurés sans trouble neurologique et des enfants nés à terme. L'étude Torrioli et al. (2000) ne détaille pas la répartition des scores limites et anormaux. SDS : Score standard de déviation.

Tableau 8. Description succincte des caractéristiques des enfants inclus dans le protocole PREMASENS. Dans ce tableau sont précisés, lorsque c'est possible, les moyennes, écart-types (ET) et étendues des valeurs.

Tableau 9. Synthèse des résultats obtenus à la M-ABC2 et leurs interprétations

Tableau 10. Scores attribués aux catégories socioprofessionnelles

Tableau 11. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche de discrimination perceptive. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont (1,78) pour les tests *t* et de 1 ou 2 pour le test du *Khi2*.

Tableau 12. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche de discrimination perceptive pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,78).

Tableau 13. Effectifs des enfants dans la tâche de discrimination perceptive en fonction des conditions.

Tableau 14. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et la performance à la tâche de discrimination perceptive. Les degrés de liberté sont indiqués entre parenthèses.

Tableau 15. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche de poursuite visuomanuelle. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,40) pour les tests t et de 1 pour le test du Khi2.

Tableau 16. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses l'écart-type (ET) et l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,40).

Tableau 17. Résultats des analyses de régression linéaire portant sur les liens entre la distance moyenne à la cible et les différents scores aux tests standardisés évaluant les habiletés visuomotrices. Les ddl sont de (1,40).

Tableau 18. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et la précision dans la tâche de poursuite visuomanuelle. Pour chaque case les degrés de libertés sont (1,18).

Tableau 19. Caractéristiques des enfants qui ont participé à la tâche d'équilibre. Lorsque c'est possible, sont précisés entre parenthèses l'écart-type (ET) suivi de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,38) pour les tests t et de 1 pour le test du *Khi2*.

Tableau 20. Comparaisons des groupes d'enfants de la tâche d'équilibre statique pour les résultats aux tests et questionnaire standardisés. Sont précisés entre parenthèses les écart-types (ET) suivis de l'étendue des valeurs. Les ddl sont de (1,38).

Tableau 21. Résultats des analyses de régression linéaire entre différents indicateurs périnataux et les performances de contrôle postural dans la tâche d'équilibre statique. Pour chaque case les degrés de libertés sont de (1,18).

Tableau 22. Résultats des analyses de régression linéaire entre les performances aux tests standardisés et les performances de contrôle postural dans une tâche d'équilibre statique. Pour chaque case les degrés de libertés sont de (1,38).

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 – Informations clés du Chapitre I - Qu'est-ce que la prématurité ?	11
Encadré 2 – Informations clés du Chapitre II - Une approche non linéaire du développement	17
Encadré 3 – Informations clés du Chapitre III - La période périnatale : rôle clé des expériences sensorielles et des couplages entre action et perception	29
Encadré 4 – Informations clés du Chapitre IV - Le développement à court terme du nouveau-né prématuré : expériences atypiques et conséquences sur le développement perceptivo-moteur.....	47
Encadré 5 - Informations clés du Chapitre V - Développement perceptivo-moteur de l'enfant né prématuré	70
Encadré 6 – Informations clés pour la tâche de discrimination perceptive	102
Encadré 7 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche de discrimination perceptive	133
Encadré 8 - Informations clés pour la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée	140
Encadré 9 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche de poursuite visuomanuelle informatisée	168
Encadré 10 - Informations clés associées à la tâche d'équilibre statique	183
Encadré 11 - Résumé et conclusion de l'étude portant sur la tâche d'équilibre statique ..	210

ANNEXES

Annexes

Annexe 1

Madelaine, C., Benguigui, N., Norman, J. F., Molina, M. (2017). Effets de la prématurité sur le développement des capacités intermodales des enfants anciens grands prématurés d'âge scolaire. 58ème Congrès annuel de la SFP, Nice, 30/08-01/09.

Annexe 2

Madelaine, C., Benguigui, N., Mallek, M., Guillois, B., Molina, M. (2017). Effets de la grande prématurité chez les enfants d'âge scolaire sur le contrôle du mouvement dans une tâche de poursuite visuomanuelle. 17ème Congrès internationale de l'ACAPS, Dijon, 29/10-31/10.

Annexe 3

Étude n°2 : Comparaison d'enfants nés à terme ou nés grands prématurés ayant reçu un diagnostic de TAC

Annexe 4

Autorisations légales du protocole

Annexe 5

Documents adressés aux parents : lettres d'information et consentements

Annexe 6

CV scientifique

Annexe 1 – Poster SFP 2017



58^{ème} congrès annuel
30/08/17 au 1/09/17

Effets de la prématurité sur le développement des capacités intermodalitaires des enfants anciens grands prématurés d'âge scolaire

C. Madelaine^{*1}, N. Benguigui², J. F. Norman³, and M. Molina¹
^{*}charline.madelaine@unicaen.fr

¹Laboratoire Psychologie Caen Normandie LPCN EA 7452 (LPCN) – UNICAEN, France ; ²Centre d'Etude Sport et Actions Motrices EA 4260 (CESAMS) – UNICAEN, France ; ³Gustav Fechner Perception Laboratory - Western Kentucky University, Etats-Unis

INTRODUCTION

- Il existe une prévalence importante de troubles neuromoteurs mineurs et perceptivo-moteurs chez les enfants anciens grands prématurés (Jongmans et al., 1997).
- Ces données soulèvent l'hypothèse que la naissance prématurée, par un contexte environnemental contraignant (Kuhn, Zores, Astruc, Dufour, & Casper, 2011) associé à une immaturité cérébrale structurelle et fonctionnelle (Marret, 2007), peut induire des retards et/ou des développements atypiques au niveau des capacités d'intégration multisensorielle.
- Ces derniers devraient également être observés chez les enfants indemnes de tout trouble.

OBJECTIF

Etudier les caractéristiques des capacités intermodalitaires chez les enfants anciens grands prématurés d'âge scolaire ne présentant aucun trouble sensorimoteur identifié en utilisant une tâche de discrimination perceptive dans les modalités visuelle (V) et tactile (H).

MATERIEL ET METHODE

Population :

- Deux groupes d'enfants : 10 anciens grands prématurés (PT, 28-32 SA) et 16 nés à terme (NT, >37 SA) âgés respectivement en moyenne de 8 ans 9 mois et 8 ans 8 mois
- M-ABC2 total supérieur ou égal au 16^{ème} pc
- Absence de difficultés scolaires, de trouble psychologique, sensoriel ou moteur

Matériel :

- 12 paires d'objets identiques et 12 paires d'objets différentes
- Présentation aléatoire des paires et présentation séquentielle des deux objets de chaque paire

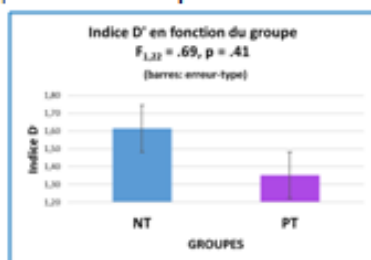
Méthode :

- Une condition intermodale par participant : visuelle-tactile ou tactile-visuelle
- Calcul de l'indice de discrimination perceptif D' et du biais de réponse c



RESULTATS

- Effets simples non significatifs du groupe et de la condition pour les deux variables
- Effet d'interaction non significatif entre le groupe et la condition pour les deux variables.



DISCUSSION

- L'étude de Rose et Wallace (1985) a mis en évidence une différence significative entre des nourrissons nés à terme ou nés prématurés sans anomalie neurologique majeure dans une tâche similaire.
- Les résultats obtenus montrent que les nourrissons prématurés ont rattrapé leur retard en terme de capacité de transfert intermodal (visuelle et tactile) : à 8 ans, les performances ne sont pas significativement différentes entre les enfants nés à terme et les enfants prématurés (indice D').
- Les deux groupes d'enfants ont aussi la même stratégie de discrimination des objets (indice c).
- On peut cependant se poser la question du maintien de cette non différence entre les deux groupes d'enfants dans les conditions intramodales pour les mêmes modalités.

REFERENCES

- Jongmans, M. J., Mercuri, E., Vries, L. De, Dubowitz, L., Sheila, E., Dis, A., ... Henderson, S. E. (1997). Minor neurological signs and perceptual-motor difficulties in prematurely born children. *Archives of Disease in Childhood*, 76, 9-14.
- Kuhn, P., Zores, C., Astruc, D., Dufour, A., & Casper, C. (2011). Développement sensoriel des nouveau-nés grands prématurés et environnement physique hospitalier. *Archives de Pédiatrie*, 18, S92-S102.
- Marret, S. (2007). Plasticité cérébrale chez le prématuré. *Archives de Pédiatrie*, 14 (6), 519-521.
- Rose, S. A., & Wallace, I. F. (1985). Cross-modal and intramodal transfer as predictors of mental development in full-term and preterm infants. *Developmental Psychology*, 21 (6), 949-962.



Annexe 2 – Poster ACAPS 2017



Effets de la grande prématurité chez les enfants d'âge scolaire sur le contrôle du mouvement dans une tâche de poursuite visuo-manuelle

C. Madelaine¹, N. Benguigui², M. Mallek², B. Guillois³ et M. Molina¹
^{*}charline.madelaine@unicaen.fr

¹Laboratoire Psychologie Caen Normandie LPCN EA 7452 (LPCN) – UNICAEN, France ; ²Centre d'Etude Sport et Actions Motrices EA 4260 (CESAMS) – UNICAEN, France ; ³Unité de Néonatalogie, CHU de Caen, France

INTRODUCTION

- Il existe une importante littérature sur les troubles perceptivo-moteurs chez les enfants anciens prématurés (Jongmans et al., 1997), et notamment dans les coordinations visuelles et visuo-manuelles (Langaas et al., 1998; Van Braeckel et al., 2010)
- Une nouvelle approche axée sur les enfants anciens prématurés au développement « typique » (voir critères population) serait pertinente pour comprendre et prévenir ces troubles

OBJECTIF & HYPOTHESES

- Etudier les similitudes et différences entre enfants anciens grands prématurés au développement « typique » et enfants nés à terme dans une tâche de poursuite visuo-manuelle en fonction des conditions de poursuite.
- Des difficultés de poursuite attendues chez certains enfants anciens grands prématurés pouvant être liées à une augmentation du délai visuo-moteur (DVM).

MATERIEL ET METHODE

Population :

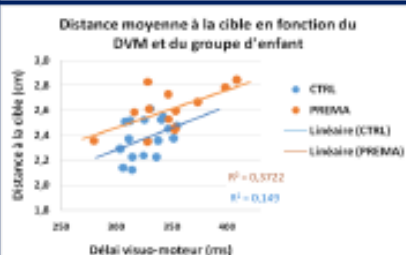
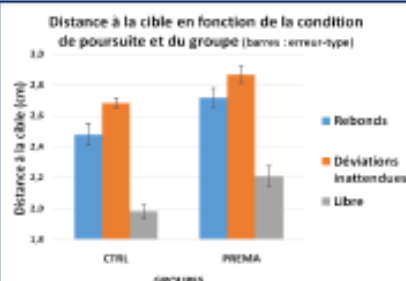
- 13 anciens grands prématurés (PT, 28-32 SA) et 17 nés à terme (NT, >37 SA = Groupe Contrôle) – Age moyen 8 ans 8 mois
- PT et NT : Absence de difficulté scolaire, de trouble psychologique, sensoriel ou moteur
- M-ABC2 total supérieur ou égal au 16ème percentile

Matériel :

- Tablette et stylet WACOM / Ecran ordinateur Acer AL707 et ordinateur portable HP ZBook 15u G2
- Logiciel : « Poursuite » (Richard Kulpa, Université de Rennes 2)

Méthode :

- 24 essais de 15 s de poursuite avec un effecteur sur l'écran (système stylet/tablette graphique)
- Cible se déplaçant dans un espace délimité (carré de 13,4 cm)
- Analyse des données dans 3 conditions : poursuite libre ; autour des rebonds ; après des déviations inattendues
- DVM calculés après les déviations inattendues à partir de la première correction du mouvement



RESULTATS & DISCUSSION

- Les enfants anciens prématurés ont de moins bonnes performances que les enfants nés à terme ($F_{(3,56)} = 3.61, p < .001$) et ce quelle que soit la condition de poursuite ($F_{(3,56)} = 0.159, p = .853$)
 > Cf. figure ci-contre en haut (ANOVA mesures répétées)
- Ils ont un DVM plus long que les enfants nés à terme (Moyenne PREMA: 347 ms; Moyenne CTRL: 327 ms; t de Student : $t = -2.44, p < .05$)
- Le DVM prédit mieux la performance de poursuite des enfants anciens prématurés ($r_{\text{Pearson}} = .645, p < .05$) que celles des enfants nés à terme ($r_{\text{Pearson}} = .464, p < .05$).
- Les performances apparaissent plus hétérogènes chez les enfants anciens grands prématurés que les enfants nés à terme.
 > Cf. figure ci-contre en bas
- Malgré un développement global (dont moteur) estimé « typique », certains enfants anciens grands prématurés ont des performances qui se différencient nettement des enfants typiques.
- La tâche de poursuite et le DVM sont de bons indicateurs d'éventuelles difficultés visuomotrices chez certains enfants anciens grands prématurés présentant un développement typique

REFERENCES

- Jongmans, M. J., Mercuri, E., Vries, L. De, Dubowitz, L., Sheila, E., Dis, A., ... Henderson, S. E. (1997). Minor neurological signs and perceptual-motor difficulties in prematurely born children. *Archives of Disease in Childhood*, 76, 9-14.
- Langaas, T., Mon-Williams, M., Wann, J. P., Pascal, E., & Thompson, C. (1998). Eye movements, prematurity and developmental co-ordination disorder. *Vision Research*, 38(12), 1817-1826.
- Van Braeckel, K., Butcher, P. R., Geuze, R. H., van Duijn, M. A., Bos, A. F., & Bourma, A. (2010). Difference rather than delay in development of elementary visuomotor processes in children born preterm without cerebral palsy: a quasi-longitudinal study. *Neuropsychology*, 24(1), 90.



Annexe 3 - Étude n°2 : Comparaison d'enfants nés à terme ou nés grands prématurés ayant reçu un diagnostic de TAC

Une deuxième étude était initialement intégrée au projet de thèse et a été lancée en parallèle de celle détaillée dans ce manuscrit. Cette étude avait pour objectif de comparer les habiletés perceptivo-motrices d'enfants nés à terme et d'enfants nés grands prématurés, tous âgés entre 8 et 11 ans et ayant reçu un diagnostic de TAC (ou présentant l'ensemble des critères de diagnostic). Pour rappel, ce trouble se caractérise principalement par des troubles perceptivo-moteurs majeurs qui entraînent un handicap significatif au quotidien dans les activités motrices mobilisant la motricité fine (ex. dextérité manuelle), comme la motricité globale (ex. équilibre). Caractériser au mieux les habiletés perceptivo-motrices de ces enfants en fonction de leur âge gestationnel de naissance permettrait de guider au mieux les évaluations cliniques, ainsi que les prises en charge paramédicales (psychomotricité, ergothérapie).

Le recrutement des enfants s'est effectué par le biais de Pédiatres et Neuropédiatres, exerçant dans différentes structures : Dr Bach et Dr Toulouse (Service de Pédiatrie – CHU Caen), Dr Volondat-Challe et Dr Dolet (CMPR La Clairière – Flers et Hérouville-Saint-Clair), Dr Penniello-Valette (CRTLA – CHU Caen). Les critères d'inclusion des participants étaient les suivants : âgés de 8 ans 0 mois à 11 ans 11 mois ; nés à terme ou nés grands prématurés (28-32 SA) ; diagnostic de TAC établi par un médecin (de préférence), avec ou sans trouble associé connu ; pas de difficulté motrice d'origine central (PC) ; acuité visuelle normale ou corrigée ; score M-ABC2 égal ou inférieur au 9^{ème} percentile ; questionnaire M-ABC2 (vie quotidienne) avec un score dans la zone orange ou rouge. Le Tableau I reprend les principales caractéristiques des enfants qui ont été recrutés dans les deux groupes.

Le protocole appliqué suivait strictement la même méthode que celle utilisée dans l'étude portant sur les enfants nés à terme et les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental, tous âgés de 8 ans. Un compte-rendu était systématiquement rédigé à la fin de la participation des enfants afin de communiquer les résultats des tests standardisés aux structures médicales responsables du suivi, ainsi qu'aux parents.

Tableau I. Principales caractéristiques des enfants recrutés dans la deuxième étude. Les moyennes et les étendues sont indiquées lorsque cela est possible Les écart-types sont notés entre parenthèses.

	Enfants TAC nés terme (N=11)	Enfants TAC nés prématurés (N=4)
Age (année et mois)	10 ans 1 mois (1 an 5 mois) 8 ans 0 mois - 11 ans 7 mois	9 ans 1 mois (7 mois) 8 ans 8 mois - 10 ans 0 mois
Age gestationnel (SA)	39 (0.89) 38 - 40	31 (0.82) 30 - 32
Poids à la naissance (g)	3311.82 (539.48) 2610 - 3890	1415.25 (395.81) 961 - 1910
Taille à la naissance (cm)	49.09 (1.93) 45.5 - 51	39.37 (4.11) 34 - 44
Latéralité (droitier/gaucher)	8 / 3	4 / 0
Sexe ratio (fille/garçon)	4 / 7	3 / 1

Face aux difficultés de recrutement, cette étude n'a pas pu être menée à terme dans le temps limité du travail de recherche de la thèse. Cependant, même si les données des enfants ne pourront ne pas être exploitées d'un point de vue scientifique, le protocole a permis aux familles de faire un bilan sur les compétences perceptivo-motrices des enfants. Des conseils concernant la scolarité ont aussi pu leur être communiqués dans le même temps.

Annexe 4 - Autorisations obtenues pour le projet PREMASENS

❖ CPP Nord-Ouest III (Comité de Protection des Personnes) :

Réf. CPP : A16-D09-VOL.27

Le comité confirme le caractère non interventionnel de cette étude, tel que défini par l'article L.1121-1 de la loi n° 2004-806 du 9 août 2004 et l'article R.1121-2 du décret 2006-477 du 26 avril 2006 du CSP.

3 Mars 2016

❖ CCTIRS (Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé) :

Réf. CCTIRS : N°16-881

Avis favorable

15 Décembre 2016

❖ CNIL (Commission Nationale Informatique & Libertés) :

Réf. CNIL : MMS/HGT/AR177168

Décision DR-2017-130 autorisant UNIVERSITE DE CAEN NORMANDIE à mettre en œuvre un traitement de données ayant pour finalité une étude portant sur les EFFETS A LONG TERME DE LA PREMATURITE SUR LA SENSORIMOTRICITE DE L'ENFANT D'ÂGE SCOLAIRE, intitulé « PREMASENS » (Demande d'autorisation n°917018).

❖ Accords de l'inspection académique

Dossiers soumis en 2016 et 2017 et accords obtenus

Écoles et garderies de Caen :

- La Ronde des Bambins
- Cours du Sacré Cœur
- École Michel Trégore
- École Haie Vigné
- École Bosnières

Annexe 5 - Documents adressés aux parents et aux enfants: lettres d'information et consentements

**Documents adressés aux familles des deux groupes d'enfants : consentement des parents
et lettre d'information des enfants**

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DE PARTICIPATION

Nous soussignons, _____, déclarons avoir lu les informations relatives à l'étude « Effets à long terme de la prématurité sur la sensorimotricité de l'enfant d'âge scolaire », dont nous avons bien saisi les objectifs et la méthodologie, en ayant bien reçu des réponses satisfaisantes à nos questions.

En signant ce consentement, nous confirmons avoir compris le projet de recherche et acceptons librement la participation de notre enfant _____ à ces tests. Nous acceptons que les données nominatives concernant notre enfant, recueillies à l'occasion de cette étude, puissent faire l'objet d'un traitement informatisé par les organisateurs de la recherche.

Le droit d'accès et de rectification des données prévues par la loi « informatique et libertés » peut s'exercer à tout moment, directement ou par l'intermédiaire du choix des parents, auprès des responsables de l'étude. Pour toutes les informations de nature médicale, nous exercerons ce droit auprès du médecin investigateur.

Les données nominatives recueillies resteront strictement confidentielles. A ce titre, une déclaration de création de fichiers informatisés a été faite auprès de la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), spécifiquement pour cette étude. Nous n'autorisons leur consultation que par des personnes qui collaborent à l'étude, dûment mandatées par le promoteur, et éventuellement par des représentants des autorités administratives.

Nous avons le droit de refuser de participer sans avoir à nous justifier et le droit de retirer notre consentement sans avoir à nous justifier. Les résultats de la recherche seront disponibles sur simple demande auprès des investigateurs, au terme de la recherche.

Si nous le désirons, nous serons libres à tout moment d'arrêter toute participation à cette étude, sans que notre responsabilité ne soit engagée et sans conséquence aucune sur la qualité des soins apportés à notre enfant s'il en existe.

Nous avons également pris note que les frais de l'étude sont pris en charge par le promoteur de l'étude, qui est l'Université de Caen-Normandie.

- « Nous avons pu poser toutes les questions que nous voulions et nous avons reçu des réponses adaptées »,
- « Nous avons disposé d'un temps de réflexion suffisant entre l'information et la signature du consentement »,
- « Nous avons bien compris que nous avons le droit de refuser de participer ou de retirer notre consentement à tout moment sans avoir à nous justifier »,

- « Nous acceptons de façon libre et volontaire que notre enfant participe à la présente recherche »,
- « Nous avons compris que les données médicales concernant notre enfant resteront confidentielles et ne pourront être consultées que par l'investigateur et ses collaborateurs, par des personnes mandatées par le promoteur et astreintes au secret professionnel et par des personnes mandatées par les autorités sanitaires ou judiciaires »,
- « Le présent consentement ne décharge pas le promoteur et les investigateurs de leurs responsabilités ».
- « L'accord de l'enfant a été recherché par le biais d'une note explicative adaptée à son âge ».

- **Nom et prénom de l'enfant** (lettres d'imprimerie) Date de naissance

- **Titulaire de l'autorité parentale n°1**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

J'atteste être le seul titulaire de l'autorité parentale : oui ☐ non ☐

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

- **Titulaire de l'autorité parentale n°2**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

Investigateur associé :

Charline MADELAINE

Signature :

Date

Lettre d'information aux enfants

Date : _____

Bonjour,

Nous sommes chercheurs à l'Université de Caen et nous avons besoin de ta participation pour une étude scientifique sur la motricité des enfants. La motricité, c'est l'ensemble des mouvements que tu fais tous les jours. Pour étudier ces mouvements, nous avons créé plusieurs petits jeux que nous souhaitons te proposer.

Dans ces petits jeux, il y a aura plein d'activités pour regarder par exemple ta dextérité manuelle et ton équilibre.

L'ensemble des jeux va durer une heure et quarante-cinq minutes, mais ils ne seront pas forcément tous faits à la suite. Pendant les jeux, des pauses peuvent être faites à chaque fois que tu en auras besoin et tu as de droit d'arrêter quand tu veux si tu ne veux plus participer.

Si tu es d'accord pour participer à cette étude, écrit ton nom et ton prénom juste en dessous.

NOM : _____

PRENOM : _____



Documents adressés aux familles des enfants nés à terme : lettre d'information des parents et consentement d'utilisation des coordonnées

Lettre d'information aux parents

Caen le 01/01/2017,

Madame, Monsieur,

Nous sommes chercheurs à l'Université de Caen-Normandie et nous réalisons actuellement une étude sur la sensorimotricité des enfants âgés de 8 ans. Et plus spécifiquement, nous nous posons la question de l'effet à long terme d'une naissance prématurée sur cette sensorimotricité. En effet, la prématurité est aujourd'hui reconnue comme une situation à haut risque pour le neurodéveloppement de l'enfant. Afin de comprendre au mieux les difficultés potentielles des enfants anciens grands prématurés, nous devons comparer leurs résultats à ceux d'enfants nés à terme.

Pour cette étude, nous avons conçu plusieurs situations d'observation non filmées qui seront présentées aux enfants sous une forme ludique. La première situation d'observation a pour objectif d'étudier les capacités de discrimination d'objets dans les modalités tactile et visuelle. Dans cette activité, après une exploration exclusivement manuelle d'un objet, l'enfant est invité à indiquer si un autre objet présenté soit tactilement, soit visuellement, est identique au précédent. Et inversement, après une exploration exclusivement visuelle, l'objet doit être comparé à un autre exploré soit manuellement, soit visuellement. Les bonnes réponses, ainsi que les erreurs, sont notées.

La deuxième situation d'observation consiste à proposer aux enfants une tâche de poursuite visuo-manuelle afin d'évaluer les qualités de l'ajustement moteur et de la régulation du mouvement en fonction des contraintes imposées aux déplacements des cibles. Les délais visuomoteurs ainsi que les niveaux de performance seront étudiés.

La troisième situation d'observation s'intéresse au maintien de l'équilibre postural. L'enfant est debout sur une plateforme permettant de mesurer les oscillations du corps ainsi que les délais de réponse de ces oscillations. Ces informations sont enregistrées avant, pendant et après, qu'un flux visuel (alternance bandes blanches et noires) est présenté sur deux écrans placés de part et d'autre de l'enfant.

En parallèle de ces situations d'observation, une évaluation psychomotrice (batterie M-ABC2), ainsi qu'une évaluation de la perception visuelle (NEPSY-2, PEGV) seront proposées. Ces évaluations se composent de plusieurs exercices très courts. Si des difficultés importantes se manifestent lors de ces dernières, une orientation vers un médecin spécialiste sera proposée afin d'assurer la meilleure prise en charge possible.

Les enfants participeront à ce protocole en plusieurs temps sur les lieux de scolarité ou de garde périscolaire en accord avec les structures d'accueil. Ces tests, qui ne présentent aucun risque, durent au total approximativement 1 heure 45 minutes et seront effectués en plusieurs fois.

Nous sollicitons donc votre accord écrit pour que votre enfant participe à cette étude. Nous vous garantissons l'anonymat de l'ensemble des données recueillies.

Aspects légaux

- Les données à caractère personnel de votre enfant seront anonymées et sécurisées contre tout accès non autorisé et leur confidentialité sera garantie.
- Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (loi n°78-17 du 06 janvier 1978 modifiée par la loi n° 2004-801 du 06 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification de vos données personnelles. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette étude et d'être traitées.
- Le Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest III a confirmé le caractère non interventionnel de cette étude, tel que défini par l'article L.1121-1 de la loi n° 2004-806 du 9 août 2004 et l'article R.1121-2 du décret 2006-477 du 26 avril 2006 du CSP, le 25 février 2016.
- Cette étude a reçu un avis favorable du Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé le 15 décembre 2016.
- Vous avez la possibilité à tout moment de poser des questions à tout moment avant et en cours d'étude, aux investigateurs, ainsi que de vous retirer de l'étude.

D'avance, nous vous remercions de votre aide précieuse qui seule peut nous aider à mieux comprendre comment évoluent la sensorimotricité, essentielle au développement, des enfants anciens prématurés.

Charline Madelaine*, Bernard Guillois**

*Doctorante en Psychologie du développement, **Service de Néonatalogie CHU Caen

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT D'UTILISATION DES COORDONNEES TELEPHONIQUE ET POSTALE

Caen, le _____

L'étude du développement sensorimoteur des enfants d'âges scolaires, concerne les enfants âgés de 8 ans, nés à terme ou anciens grands prématurés, et les enfants âgés de 8 à 11 ans nés à terme ou anciens grands prématurés et présentant un Trouble d'Acquisition de la Coordination. Si vous souhaitez participer à cette étude, les organisateurs auront besoin de vous recontacter à la réception de votre accord de participation afin de confirmer la participation de votre enfant et de vous informer des dates convenues avec l'école, ou pour vous faire un retour sur la participation de votre enfant.

Nous sollicitons donc votre accord écrit pour que vous nous permettiez d'utiliser vos coordonnées téléphonique et/ou postale. Ces données resteront confidentielles, ne seront pas communiquées à des personnes extérieures et seront conservées dans un fichier indépendant qui sera détruit à la fin de l'étude.

Nous soussignés _____,

déclarons accepter que les organisateurs de la recherche intitulée « Effets à long terme de la prématurité sur la sensorimotricité de l'enfant d'âge scolaire » utilisent nos coordonnées téléphonique et/ou postale.

- **Numéro de téléphone :** _____

- **Adresse :**

- **Titulaire de l'autorité parentale n°1**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

J'atteste être le seul titulaire de l'autorité parentale : oui ☐ non ☐

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

- **Titulaire de l'autorité parentale n°2**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

Documents adressés aux familles des enfants nés prématurés : lettre d'information des parents et consentement d'utilisation des coordonnées

Lettre d'information aux parents

Caen le 01/01/2017,

Madame, Monsieur,

Nous sommes chercheurs à l'Université de Caen-Normandie et nous réalisons actuellement une étude sur la sensorimotricité des enfants âgés de 8 ans. Et plus spécifiquement, nous nous posons la question de l'effet à long terme d'une naissance prématurée sur cette sensorimotricité. En effet, on retrouve chez 44,4% des enfants anciens grands prématurés âgés de 5 ans des troubles neuromoteurs mineurs affectant la coordination visuomotrice, les praxies et la motricité fine. Or ces troubles, très peu étudiés, pourraient traduire une originalité des capacités d'intégration sensorielle de l'enfant.

Pour cette étude, nous avons conçu plusieurs situations d'observation non filmées qui seront présentés aux enfants sous une forme ludique. La première situation d'observation a pour objectif d'étudier les capacités de discrimination d'objets dans les modalités tactile et visuelle. Dans cette activité, après une exploration exclusivement manuelle d'un objet, l'enfant est invité à indiquer si un autre objet présenté soit tactilement, soit visuellement, est identique au précédent. Et inversement, après une exploration exclusivement visuelle, l'objet doit être comparé à un autre exploré soit manuellement, soit visuellement. Les bonnes réponses, ainsi que les erreurs, sont notées.

La deuxième situation d'observation consiste à proposer aux enfants une tâche de poursuite visuo-manuelle afin d'évaluer les qualités de l'ajustement moteur et de la régulation du mouvement en fonction des contraintes imposées aux déplacements des cibles. Les délais visuomoteurs ainsi que les niveaux de performance seront étudiés.

La troisième situation d'observation s'intéresse au maintien de l'équilibre postural. L'enfant est debout sur une plateforme permettant de mesurer les oscillations du corps ainsi que les délais de réponse de ces oscillations. Ces informations sont enregistrées avant, pendant et après, qu'un flux visuel (alternance bandes blanches et noires) est présenté sur deux écrans placés de part et d'autre de l'enfant.

En parallèle de ces situations d'observation, une évaluation psychomotrice (batterie M-ABC2), ainsi qu'une évaluation de la perception visuelle (NEPSY-2, PEGV) seront proposées. Ces évaluations se composent d'exercices très courts. Si des difficultés importantes se manifestent lors de ces dernières, une orientation vers un médecin spécialiste sera proposée afin d'assurer la meilleure prise en charge possible.

Les enfants participeront à ce protocole au laboratoire LPCN (laboratoire de Psychologie du développement agréé pour conduire des recherches observationnelles) se situant à la MRSN sur le Campus 1 de l'Université de Caen. Ces tests, qui ne présentent aucun risque, durent au total approximativement 1 heure 45 minutes et peuvent être effectués en plusieurs fois.

Nous sollicitons donc votre accord écrit pour que votre enfant participe à cette étude. Nous vous garantissons l'anonymat de l'ensemble des données recueillies.

Aspects légaux

- Les données à caractère personnel de votre enfant seront anonymées et sécurisées contre tout accès non autorisé et leur confidentialité sera garantie.
- Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (loi n°78-17 du 06 janvier 1978 modifiée par la loi n° 2004-801 du 06 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification de vos données personnelles. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette étude et d'être traitées.
- Le Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest III a confirmé le caractère non interventionnel de cette étude, tel que défini par l'article L.1121-1 de la loi n° 2004-806 du 9 août 2004 et l'article R.1121-2 du décret 2006-477 du 26 avril 2006 du CSP, le 25 février 2016.
- Cette étude a reçu un avis favorable du Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé le 15 décembre 2016.
- Vous avez la possibilité à tout moment de poser des questions à tout moment avant et en cours d'étude, aux investigateurs, ainsi que de vous retirer de l'étude.

D'avance, nous vous remercions de votre aide précieuse qui seule peut nous aider à mieux comprendre comment évoluent la sensorimotricité, essentielle au développement, des enfants anciens prématurés.

Charline Madelaine*, Bernard Guillois**

*Doctorante en Psychologie du développement, **Service de Néonatalogie CHU Caen

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT D'UTILISATION DES COORDONNEES TELEPHONIQUE ET POSTALE

Caen, le _____

L'étude du développement sensorimoteur des enfants d'âges scolaires, concerne les enfants âgés de 8 ans, nés à terme ou anciens grands prématurés, et les enfants âgés de 8 à 11 ans nés à terme ou anciens grands prématurés et présentant un Trouble d'Acquisition de la Coordination. Si vous souhaitez participer à cette étude, les organisateurs auront besoin de vous recontacter à la réception de votre accord de participation afin de confirmer la participation de votre enfant et de fixer une date pour que les tests soient réalisés, ou pour vous faire un retour sur la participation de votre enfant.

Nous sollicitons donc votre accord écrit pour que vous nous permettiez d'utiliser vos coordonnées téléphonique et/ou postale. Ces données resteront confidentielles, ne seront pas communiquées à des personnes extérieures et seront conservées dans un fichier indépendant qui sera détruit à la fin de l'étude.

Nous soussignés _____,

déclarons accepter que les organisateurs de la recherche intitulée « Effets à long terme de la prématurité sur la sensorimotricité de l'enfant d'âge scolaire » utilisent nos coordonnées téléphonique et/ou postale.

- **Numéro de téléphone :** _____

- **Adresse :**

- **Titulaire de l'autorité parentale n°1**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

J'atteste être le seul titulaire de l'autorité parentale : oui ☐ non ☐

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

- **Titulaire de l'autorité parentale n°2**

Nom (lettres d'imprimerie)

Date

Signature précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

Annexe 6 - Curriculum Vitae Scientifique

CHAPITRES

- Madelaine C., Lion-François L., Michael, G.A. (2015). L'importance de la reconnaissance des émotions chez les enfants et l'impact sur les apprentissages : l'exemple de la Neurofibromatose de type I. *Développements : Des sciences de l'apprentissage à la salle de classe*, 18-19, 271-289, De Boeck-Solal.
- Michael, G. A., Tapiero, I., Lété, B., Monnier, C., Madelaine, C., Ducrot, S., & Lion-François, L. (2015). L'attention en classe: le défi partagé entre élève et enseignant. Michel Habib. *Développements : Des sciences de l'apprentissage à la salle de classe*, 18-19, De Boeck-Solal.

ARTICLE

- Peyroux, E., Babinet, M. N., Cannarsa, C., Madelaine, C., Favre, E., Demily, C., & Michael, G. A. (2019). What do error patterns in processing facial expressions, social interaction scenes and vocal prosody tell us about the way social cognition works in children with 22q11. 2DS?. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 1-15.

COMMUNICATIONS AFFICHÉES

- Michael G.A., Pellardy Chaussin A., Madelaine C., Mutis M.J., Lion-François L., Combemale, P. (2018). Understanding visual and vocal emotions in Neurofibromatosis Type 1. Changes from childhood to adulthood and the way they predict social competence problems along with attention. 2018 Joint global neurofibromatosis conference, Lyon, France
- Madelaine, C., Benguigui, N., Norman, J. F., Molina, M. (2017). Effets de la prématurité sur le développement des capacités intermodales des enfants anciens grands prématurés d'âge scolaire. 58ème Congrès annuel de la SFP, Nice, France.
- Madelaine, C., Benguigui, N., Mallek, M., Guillois, B., Molina, M. (2017). Effets de la grande prématurité chez les enfants d'âge scolaire sur le contrôle du mouvement dans une tâche de poursuite visuomanuelle. 17ème Congrès internationale de l'ACAPS, Dijon, France.
- Lion-François L., Tapiero I., Madelaine C., Mathey P., Peyric E., Michael G.A. (2017). The causal relationship between fidgeting, listening comprehension and cognitive problems in children with Neurofibromatosis Type 1. 12th European Pediatric Neurology Society Congress, Lyon, France.
- Madelaine, C., Lion-François, L., Michael, G.A. (2015). Compréhension des émotions d'autrui chez les enfants atteints d'une Neurofibromatose de type 1. 3ème réunion scientifique annuelle de la SOFTAL, Lyon, France.

COMMUNICATIONS ORALES

- Madelaine C., Benguigui N., Guillois B., Molina M. (2018). Effets de la grande prématurité sur la régulation posturale chez des enfants âgés de 8 ans. Journée Scientifique des Jeunes Chercheurs en Psychologie, Poitiers, France.
- Michael G.A., Madelaine C., Mathey P., Lion-François L. (2017). Is aggressive behavior in Neurofibromatosis Type 1 due to dysregulated inhibitory control, difficulties in interpreting emotional cues, or both? 12th European Pediatric Neurology Society Congress, Lyon, France
- Madelaine, C., Mathey, P., Lion-François, L., & Michael G.A. (2016). Attention, Emotion et Habiletés sociales à l'école. Rencontres de l'innovation. Bourg-en-Bresse, France.
- Madelaine, C., Mathey, P., Lion-François, L., & Michael G.A. (2016). Troubles de la compréhension des émotions et répercussions sur les habiletés sociales dans la NF1. 1er Après-midi Lyonnais de la Neurofibromatose de Type 1, Lyon, France.
- Michael G.A., Madelaine C., Lion-François L. (2015). Deficits in social information processing in children with Neurofibromatosis Type 1 (NF1) reflect problems with inductive reasoning. XIXth conference ESCOP Paphos, Cyprus.
- Michael G.A., Madelaine C. (2014). Percevoir les émotions: les visages, les scènes, les dialogues. Hôpital Psychiatrique Le Vinatier, Bron, France.

Effets à long terme de la prématurité sur les habiletés perceptivo-motrices chez des enfants âgés de 8 ans

La naissance prématurée se caractérise par des expériences multisensorielles et sensorimotrices atypiques lors d'une période du développement très sensible à ces dernières (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). Les recherches ont mis en évidence un impact significatif de la prématurité sur le développement des enfants (Marret et al., 2015) induisant notamment des troubles perceptivo-moteurs avec ou sans troubles neurologiques associés (De Rose et al., 2013). Cependant, si beaucoup d'études portent sur la motricité des nouveau-nés et nourrissons nés prématurés, peu de données existent sur le développement perceptivo-moteur des enfants nés prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental. La question principale abordée dans cette thèse est de savoir si la prématurité n'induit pas des signatures motrices spécifiques, même en absence de ces troubles. Dans l'objectif de répondre à cette question, différents tests standardisés, et trois tâches expérimentales impliquant la perception des équivalences intermodalitaires, la coordination visuomotrice et le contrôle postural, ont été proposés à 48 enfants nés à terme et 32 enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental et tous âgés de 8 ans. Les résultats ont mis en évidence dans les deux groupes des habiletés comparables de perception des équivalences intermodalitaires dans les modalités haptique et visuelle. Cependant, ils ont aussi révélé une efficacité moindre de la coordination visuomotrice et du contrôle postural chez les enfants nés prématurés en comparaison des enfants nés à terme. Ces différences suggèrent des processus perceptivo-moteurs différents chez les enfants nés grands prématurés sans diagnostic de trouble neurodéveloppemental âgés de 8 ans. Ces résultats offrent ainsi de nouvelles perspectives cliniques, notamment d'évaluation plus fine des habiletés perceptivo-motrices, ainsi que de nouveaux questionnements de recherche sur les trajectoires développementales de ces mêmes habiletés et des réseaux neuronaux sous-jacents chez les enfants nés prématurés.

Mots clés : naissance prématurée, habiletés perceptivo-motrices fines et globales, coordination visuomotrice, équivalences intermodalitaires, contrôle postural

Long-term effects of prematurity on perceptual-motor skills in children aged 8 years

Preterm birth is associated with atypical multisensory and sensorimotor experiences during a period of development sensitive to these experiences (Koenig-Zores & Kuhn, 2016). The studies showed a significant impact of prematurity on children development (Marret et al., 2015), such as perceptual-motor disorders, with or without associated neurological disorders (De Rose et al., 2013). However, even though there are many studies on motor abilities of preterm newborns and preterm infants, little data exists on perceptual-motor development of preterm children without neurodevelopmental disorders. The main question addressed in this thesis is to know whether prematurity does induce specific motor signatures, even in the absence of neurodevelopmental disorders. To answer this question, different standardized tests and three research tasks involving perception of intersensory equivalences, visuomotor coordination, and postural control, have been proposed to 48 full-term children and 32 very preterm children without any diagnosis of neurodevelopmental disorders, all aged 8 years old. The results revealed comparable perception abilities of intersensory equivalences in haptic and visual modalities in the preterm and the full-term groups. However, they also showed a lower efficiency of visuomotor coordination and postural control in the preterm children compared to the full-term children. These observations suggest different perceptual-motor processes in very preterm children without diagnosis of neurodevelopmental disorders at the age of 8. The results offer new clinical opportunities for a more precise evaluation of perceptual-motor abilities, and new research questions about developmental trajectories of perceptual-motor abilities and underlying neuronal networks, in preterm children.

Key word: preterm birth, fine and global perceptual-motor abilities, visuomotor coordination, intersensory equivalences, postural control