Perception manuelle de la forme des objets chez les enfants prématurés en période néonatale

Fleur Lejeune

▶ **To cite this version:**

Fleur Lejeune. Perception manuelle de la forme des objets chez les enfants prématurés en période néonatale. Psychologie. Université de Grenoble, 2010. Français. NNT : . tel-00648263

HAL Id: tel-00648263
https://theses.hal.science/tel-00648263

Submitted on 5 Dec 2011

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.

Université de Grenoble
Laboratoire de Psychologie & NeuroCognition – CNRS UMR 5105
Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement

THÈSE

Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Grenoble

Spécialité : Sciences cognitives, Psychologie et Neurocognition

Soutenue publiquement le 10 décembre 2010

Par

Fleur LEJEUNE

PERCEPTION MANUELLE DE LA FORME DES OBJETS CHEZ LES ENFANTS PREMATURES EN PERIODE NEONATALE

Sous la direction d'Edouard GENTAZ

Composition du Jury

Pr. Arlette Streri	Université Paris Descartes	Rapporteur
Pr. Chantal Junker-Tschopp	Haute Ecole de Travail Social de Genève	Rapporteur
Pr. Michèle Molina	Université de Caen	Président
Pr. Koviljka Barisnikov	Université de Genève	Examinateur
Pr. Thierry Debillon	Service de néonatologie du CHU de Grenoble	Examinateur
Dr. Edouard Gentaz	CNRS, Université de Grenoble	Examinateur

A Mamie et Papy,

A Grand-Papa,

A mon oncle Jean-Michel,

A mon amie Gaëlle.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Edouard Gentaz, de sa confiance, sa gentillesse, son optimisme et ses conseils qui m'ont permis de réaliser ce travail de thèse dans les meilleures conditions possibles.

Je remercie Arlette Streri et Chantal Junker-Tschopp d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse. Je remercie également Michèle Molina, Koviljka Barisnikov et Thierry Debillon d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Je remercie Thierry Debillon de nous avoir ouvert les portes de son service, nous ayant ainsi permis de créer une belle collaboration qui, je l'espère, perdurera. Un grand merci à Frédérique et Leïla sans qui ce travail n'aurait jamais pu être mené à bien. Fred, Leïla, merci de votre disponibilité et de votre gentillesse, j'ai énormément appris et apprécié de travailler à vos côtés.

J'adresse aussi mes remerciements à tout le personnel du service de néonatologie qui m'ont maintes fois attendue avant de brancher une alimentation, avant de commencer un soin et qui, de ce fait, ont grandement contribué à l'avancement de ce travail. Je remercie chaleureusement les parents des enfants prématurés qui, malgré les circonstances angoissantes dans lesquelles ils se trouvaient, ont si gentiment accepté que leurs enfants participent. Enfin, un grand merci à tous les enfants prématurés qui m'ont ému et impressionné tout au long de ces trois ans.

Je tiens à remercier la région Rhônes-Alpes qui a financé ce travail de thèse (SRESR CIBLE 2007 obtenu par E.G. ; numéro: 07 016861 01 - TZ 016).

Je remercie Jérémy pour son aide en informatique, Coralie pour ses conseils lors des prémices de cette thèse et Florence pour ses relectures et corrections d'anglais.

J'adresse mes remerciements à tous les membres du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition qui ont toujours été très accessibles et avec lesquels j'ai beaucoup appris.

Un grand merci à tous mes collègues et amis doctorants, anciens et actuels, pour tous les bons moments passés ensemble dans une ambiance empreinte de solidarité, d'entraide et de bonne humeur. Merci à Emilie, Solène K., Anne, Seb, Benjamin, Marcela, Lucie, Muriel, Gaëtan, Benoit M., Solène A., Yanica, Jen B., Marie-Pierre, Ben F. et Nico. Un merci tout particulier à Marie, Alice, Jen et Mathilde pour leur soutien et leur amitié dans des moments pas toujours faciles.

Je tiens aussi à remercier mes amis de Vierzon pour leurs encouragements et en particulier Lucie, Barbara, Matthieu, Karine, Céline et Arnaud.

Un grand merci à mes parents qui ont toujours cru en moi et qui m'ont donné les moyens de faire les études que je souhaitais, aussi longues soient-elles. Merci à mes frères Flavien et Florestan pour leur soutien ainsi qu'à ma chère Grand-Maman.

Enfin, je remercie tout particulièrement ma sœur Fany et mon meilleur ami Fabien qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont soutenue sans faillir et qui m'ont tant apporté.

RESUME

Les enfants prématurés reçoivent des stimulations sensorielles inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral. Le toucher semble être une modalité clé chez les enfants prématurés. L'enjeu de ce travail de thèse était d'étudier les compétences tactiles manuelles précoces des enfants prématurés. Pour cela, nous nous sommes intéressés au traitement haptique (tactilo-kinesthésique) manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision. Ce champ de recherche était resté jusqu'alors inexploré chez les enfants prématurés. Une première étude qui nous a servi d'étude pilote, nous a permis d'explorer les compétences (intra-main) à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets (prisme vs. cylindre) chez des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA (Semaines d'Aménorrhée). Dans une seconde étude, nous avons examiné l'évolution de ces compétences tactiles manuelles en fonction du degré de prématurité (trois groupes). Enfin, dans une troisième étude, nous avons étudié les compétences (inter-main) des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme d'objet avec une main et détecter une différence de forme avec l'autre main. Nos résultats révèlent l'existence d'une habituation et d'une discrimination manuelle de la forme des objets chez les enfants prématurés dès 28 SA. De plus, les enfants prématurés âgés de 28 à 34 SA présentent également des compétences de reconnaissance d'un objet familier suite à une interférence (présentation du nouvel objet) contrairement aux enfants âgés de plus de 34 SA. Les résultats particuliers de ce dernier groupe d'âge mettent en évidence des différences qualitatives avec les deux autres groupes de prématurité. Cependant les résultats ne montrent pas de différence quantitative des performances tactiles manuelles entre les trois groupes de prématurité. Enfin, les résultats révèlent qu'un transfert inter-manuel de la forme est présent chez les enfants prématurés témoignant de l'existence d'une communication entre les deux hémisphères cérébraux dès 33 SA. L'ensemble des résultats montre que l'enfant prématuré est déjà doté de compétences tactiles précoces. Ce travail de thèse apporte de nouvelles connaissances concernant le développement de la perception tactile et fournit des pistes de réflexion dans le cadre des soins de développement.

Mots clés : enfants prématurés, période néonatale, modalité tactile, haptique, traitement intra-main, transfert inter-main, forme.

ABSTRACT

Preterm infants receive inadequate sensory stimulations during a critical period of brain development. Touch seems to be a key modality in preterm infants. The aim of this thesis was to investigate early manual abilities in preterm infants. Therefore, we focused on manual haptic processing of object shape without vision control. This field of research remained hitherto unexplored in preterm infants. The first study investigated the abilities (intra-manual) to perceive in one hand the difference between the shape of two objects (prism *vs.* cylinder) in preterm infants from 33 to 34+6 GW (Gestational Weeks). In a second study, we examined the development of these manual abilities depending on the degree of prematurity (three groups). Finally, in a third study, we investigated the abilities (inter-manual) of preterm infants from 33 to 34+6 GW to perceive and memorize an object's shape with one hand and to detect differences between two shapes in the opposite hand. Our results reveal that manual habituation and discrimination of object shape are present in preterm infants from 28 GW. In addition, preterm infants from 28 to 34 GW show recognition memory after haptic interference (presentation of a novel object) contrary to infants from 34 GW. This last result indicates qualitative differences between groups of prematurity. However, our results show no quantitative difference in manual performance between the three groups of prematurity. Finally, results reveal that an inter-manual transfer of shape information is present in preterm infants at 33 GW demonstrating the existence of communication between the two cerebral hemispheres. Overall, our results show that the preterm infant is already endowed with early tactile abilities. This thesis provides new theoretical insights concerning the development of tactile perception and opens new perspectives in the context of developmental care.

Keywords : preterm infants, neonatal period, tactile modality, haptic, intra-manual processing, inter-manual transfer, shape.

SOMMAIRE

SOMMAIRE ..... **I**

LISTE DES FIGURES ..... **V**

LISTE DES TABLEAUX ..... **VIII**

LISTE DES ENCADRES ..... **XI**

INTRODUCTION **1**

PARTIE THÉORIQUE ***5***

CHAPITRE 1. PREMATURITE ET SENSORIALITE **6**

1.1. PRESENTATION DE L'ENFANT PREMATURE 6

1.1.1. Définitions 6
1.1.2. Epidémiologie de la prématurité 8
1.1.3. Pourquoi naît-on prématurément ? 9
1.1.3.1. La prématurité spontanée (70 %) *9*
- Grossesses multiples 10
- Malformations utérines 10
- Hydramnios 10
- Infections 10
- Idiopathies 11

1.1.3.2. La prématurité provoquée (30 %) *11*
1.1.3.3. Facteurs à risque *11*
1.1.3.4. Principales causes de l'augmentation de la prématurité *12*

1.2. LES COMPETENCES SENSORIELLES PRECOCES DE L'ENFANT PREMATURE 12

1.2.1. L'olfaction 13
1.2.2. La gustation 15
1.2.3. L'audition 16
1.2.4. La vision 18

1.3. L'ENVIRONNEMENT DE L'ENFANT PREMATURE 21

1.3.1. Pourquoi une hospitalisation est-elle nécessaire ? 21
1.3.2. Beaucoup de bruit… *22*
1.3.3. …et de lumière *23*
1.3.4. Les soins quotidiens *24*
1.3.5. Conclusion : l'environnement, un facteur de stress *25*

1.4. DEVELOPPEMENT SENSORIEL ET COGNITIF A MOYEN ET LONG TERME DE L'ENFANT PREMATURE *26*

1.4.1. La vision *26*
1.4.1.1. Vision du prématuré et pathologies associées *26*
1.4.1.2. Compétences visuelles : en avance ou en retard ? *27*
1.4.1.3. La mémoire de reconnaissance visuelle *28*
1.4.2. Développement intellectuel et vulnérabilité cérébrale *30*
1.4.3. Attention, syndrome d'hyperactivité, langage et scolarisation *33*

1.4.4. Perception de la douleur ... 35

1.5. LES PROGRAMMES DE SOINS DE DEVELOPPEMENT ... 38

1.5.1. Le NIDCAP (Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program) ... 39
1.5.2. Thérapie par le massage ... 42
1.5.3. La méthode « Kangourou » ... 43
1.5.4. Conclusion ... 46

CHAPITRE 2. TRAITEMENT TACTILE DES PROPRIETES DE L'OBJET ... 48

2.1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME HAPTIQUE CHEZ L'ADULTE ... 48

2.1.1. Bref rappel sur l'organisation anatomo-fonctionnelle du système somatosensoriel humain ... 49
2.1.1.1. Les récepteurs sensoriels ... 49
2.1.1.2. Les voies de projections somesthésiques ... 51
2.1.1.3. Le cortex somatosensoriel ... 52
2.1.1.4. Communication inter-hémisphérique ... 53
2.1.2. La perception haptique des objets chez l'adulte ... 54
2.1.2.1. Les deux dimensions des objets ... 54
❖ La dimension matérielle ... 55
❖ La dimension géométrique ... 55
2.1.2.2. Traitement cérébral des propriétés de l'objet ... 56
2.1.2.3. Les six procédures exploratoires ... 57

2.2. DEVELOPPEMENT PRECOCE DE LA PERCEPTION TACTILE ... 59

2.2.1. Sensibilités tactiles chez le fœtus humain ... 59
2.2.2. Le grasping, un simple réflexe ? ... 61
2.2.3. Perception manuelle des propriétés matérielles de l'objet chez le nouveau-né ... 62
2.2.3.1. Traitement intra-main ... 62
❖ Substance ... 62
❖ Poids ... 63
❖ Texture ... 64
2.2.3.2. Transfert inter-main ... 66
❖ Bases neuronales du transfert inter-main ... 66
❖ Texture ... 66
2.2.4. Développement de la perception manuelle de la forme des objets ... 67
2.2.4.1. Traitement intra-main ... 67
2.2.4.2. Transfert inter-main ... 70

2.3. PERCEPTION TACTILE DE L'ENFANT PREMATURE ... 73

2.3.1. Le toucher passif chez l'enfant prématuré ... 73
2.3.1.1. Etudes comportementales et physiologiques ... 73
2.3.1.2. Fonctionnement du cortex somatosensoriel chez le prématuré ... 77
2.3.2. Perception manuelle des propriétés de l'objet chez l'enfant prématuré : que savons-nous ? ... 79
2.3.3. Objectifs de la thèse et hypothèses ... 81

PARTIE EXPÉRIMENTALE ... 84

CHAPITRE 3 METHODOLOGIE GENERALE ... 85

3.1. CONDITIONS EXPERIMENTALES ... 85

3.1.1. Participants : critères d'exclusion ... 85

3.1.2. Stimuli ... 85
3.1.3. Conditions de passation ... 86
3.2. LES DEUX PHASES EXPERIMENTALES ... 87
3.2.1. Choix de la procédure ... 87
3.2.2. Phase d'habituation ... 88
3.2.3. Phase test ... 89
3.3. RECUEIL DE DONNEES ... 89
CHAPITRE 4. TRAITEMENT INTRA-MAIN DE LA FORME DES OBJETS CHEZ LES ENFANTS PREMATURES AGES DE 33 A 34+6 SA ET COMPARAISON AVEC LES NOUVEAU-NES A TERME (ETUDE 1) ... 90
4.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE ... 91
4.2. METHODE ... 92
4.2.1. Participants ... 92
4.2.2. Procédure ... 93
4.2.3. Analyses statistiques ... 94
4.3. RESULTATS ... 95
4.3.1. Phase d'habituation ... 95
4.3.2. Phase test ... 96
4.3.3. Comparaison entre les nouveau-nés à terme et prématurés pour les deux phases ... 99
4.3.3.1. *Phase d'habituation* ... 99
4.3.3.2. *Phase test* ... 99
4.4. DISCUSSION ... 100
CHAPITRE 5. TRAITEMENT INTRA-MAIN DE LA FORME DES OBJETS CHEZ LES ENFANTS PREMATURES DE DIFFERENTS AGES POST-CONCEPTIONNELS : INFLUENCE DE LA PLUS OU MOINS GRANDE PREMATURITE (ETUDE 2) ... 104
5.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE ... 106
5.2. METHODE ... 107
5.2.1. Participants ... 107
5.2.2. Procédure ... 107
5.2.3. Analyses statistiques ... 109
5.3. RESULTATS ... 110
5.3.1. Population totale ... 110
5.3.2. Etude 2.a : la grande prématurité (avant 32 SA) ... 113
5.3.2.1. *Phase d'habituation* ... 113
5.3.2.2. *Phase test* ... 115
5.3.3. Etude 2.b : la moyenne prématurité (entre 32 et 34 SA) ... 117
5.3.3.1. *Phase d'habituation* ... 117
5.3.3.2. *Phase test* ... 119
5.3.4. Etude 2.c : la petite prématurité (au-delà de 34 SA) ... 121
5.3.4.1. *Phase d'habituation* ... 121
5.3.4.2. *Phase test* ... 123
5.3.5. Effet de la prématurité : analyse transversale entre les groupes d'âge 126
5.3.5.1. *Phase d'habituation* ... 126

5.3.5.2. Phase test *127*
5.3.6. Effet de la prématurité : analyse longitudinale entre les groupes d'âge 130

5.4. DISCUSSION 132

CHAPITRE 6. TRANSFERT INTER-MAIN DE LA FORME CHEZ LES ENFANTS PREMATURES AGES DE 33 A 34+6 SA (ETUDE 3) **138**

6.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE 139

6.2. METHODE 140

6.2.1. Participants 140
6.2.2. Procédure 140
6.2.3. Analyses statistiques 141

6.3. RESULTATS 141

6.3.1. Phase d'habituation 141
6.3.2. Phase test 143

6.4. DISCUSSION 145

DISCUSSION GÉNÉRALE **149**

RESULTATS PRINCIPAUX **150**

AXE 1 : MATURITE DE LA MODALITE TACTILE : COMPETENCES PRECOCES **151**

AXE 2 : SIMILARITES ET DIFFERENCES DE LA PERCEPTION TACTILE MANUELLE ENTRE LES ENFANTS PREMATURES ET LES NOUVEAU-NES A TERME **155**

AXE 3 : PLACE DE LA MODALITE TACTILE AU SEIN DES AUTRES MODALITES SENSORIELLES : BIEN STIMULER UN ENFANT PREMATURE **158**

CONCLUSION **161**

RÉFÉRENCES **163**

ANNEXES **182**

LISTE DES FIGURES

Figure 1 ***Présentation des différents âges utilisés chez l'enfant prématuré selon un axe chronologique*** **7**

Figure 2 ***Réponses néonatales suite à une stimulation douloureuse. Une stimulation douloureuse, telle qu'une piqûre au talon, produit un certain nombre de réponses de la part de l'enfant, réponses qui sont mesurables et qui résultent de l'activation de réseaux neuronaux à différents niveaux du système nerveux. Les réponses individuelles peuvent être liées par le stimulus commun ou par des interconnexions. Cependant, la présence ou l'absence de A, B et / ou C ne prédit pas D. Figure issue de Slater, Fitzgerald et Meek (2007)*** **36**

Figure 3 ***Les récepteurs sensoriels de la peau. Figure issue de Bear, Connors et Paradiso (2002)*** **50**

Figure 4 ***Le cortex somatosensoriel : ensemble des aires somatosensorielles situeés dans le lobe pariétal et découpage du cortex somesthésique primaire en 4 aires de Brodmann. Figure issue de Bear, Connors et Paradiso (2002)*** **52**

Figure 5 ***Schéma simplifié illustrant les principales connexions entre les différentes structures cérébrales impliquées dans la perception haptique. Figure adaptée de Gentaz (2003)*** **53**

Figure 6 ***Principales procédures exploratoires. Figure adaptée de Lederman et Klatzky (1987)*** **58**

Figure 7 ***Présentation des patterns d'ouverture / fermeture des doigts (Squeeze-Release) et de grasping rigide (Clutch). Figure issue de Rochat (1987)*** **63**

Figure 8 ***Habituation et réaction à la nouveauté chez le nouveau-né pour la propriété de forme. Durée moyenne du temps de tenue lors de la phase d'habituation (les 4 derniers essais) et lors de la phase test avec la main droite et gauche. Pc. trials = 2 essais supplémentaires après l'habituation avec l'objet familier ; T1 et T2 = 2 essais avec l'objet nouveau. Figure issue de Streri, Lhote et Dutilleul (2000)*** **68**

Figure 9 ***Transfert inter-main chez les nouveau-nés. Moyenne du temps de tenue (en secondes) et erreur standard lors de la phase test selon la propriété de l'objet***

(Texture vs. Forme) et selon la nature de l'objet (Nouveau vs. Familier). Figure issue de Sann et Streri (2008)..... 71

Figure 10 *Transfert inter-main chez les enfants de 2 et 6 mois. Moyenne des mesures relatives (RM = Temps de tenue des 2 essais de la phase test / Temps de tenue des 2 derniers essais de l'habituation) et erreur standard en fonction de l'âge des enfants (2 mois vs. 6 mois) et de la nature de l'objet (Familier (SO/OH) vs. Nouveau (DO/OH)). Figure adaptée de Streri, Lemoine et Devouche (2008)*..... 72

Figure 11 *Moyennes des pics d'accélérations cardiaques en fonction des essais contrôle, d'habituation, de nouveauté et de reconnaissance pour les non répondeurs (A) et les répondeurs (B) et erreurs standards. Figure issue de Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002)*..... 76

Figure 12. *Enfants prématurés tenant un cylindre (a) et un prisme (b). Photographies de F. Audéoud*..... 86

Figure 13 *Installation de l'enfant prématuré pour les études 1 et 2*..... 93

Figure 14 *Installation de l'enfant prématuré pour l'étude 2 : l'emmaillotement* 108

Figure 15 *Répartition des enfants prématurés selon leur âge post-conceptionnel à travers l'étude. Les nouveaux enfants sont ceux inclus dans leurs dix premiers jours de vie. L'effectif total correspond à tous les enfants inclus dans chacun des trois groupes de prématurité (flèche bleue). Chaque enfant inclus et donc testé peut être habitué, non habitué ou alors le test a été arrêté avant la fin (flèche verte).*..... 111

Figure 16 *Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de moins de 32 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.a]*..... 113

Figure 17 *Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]*..... 116

Figure 18 *Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.b]*..... 117

Figure 19 ***Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]*** **120**

Figure 20 ***Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de plus de 34 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.c]*** **121**

Figure 21 ***Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]*** **124**

Figure 22 ***Comparaison des profils de réaction à la nouveauté entre les trois groupes de prématurité (grande vs. moyenne vs. petite) chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours et appartenant au groupe expérimental (N = 28) : temps de tenue des deux derniers essais d'habituation et des deux premiers essais de la phase test avec le nouvel objet [étude 2]*** **127**

Figure 23 ***Comparaison des profils de reconnaissance de l'objet familier entre les groupes de grande et moyenne prématurité chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours et appartenant au groupe expérimental (N = 24) : temps de tenue de la phase test des deux premiers essais avec le nouvel objet et des deux derniers essais avec l'objet familier [étude 2]*** **128**

Figure 24 ***Graphique des temps de tenue (moyennes (erreur standard)) des deux derniers essais de l'habituation, de l'objet nouveau et de l'objet familier lors des essais de la phase test [étude 3]*** **143**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 ***Pourcentage moyen de naissances prématurées dans chacun des 4 grands groupes de prématurité selon l'âge gestationnel. Adapté de Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero (2008)*** **8**

Tableau 2 ***Evolution du nombre d'enfants prématurés selon l'état de la naissance en 1995, 1998 et 2003 en France. Adapté de Vilain, de Peretti, Herbet et Blondel (2005)*** **8**

Tableau 3 ***Déficit intellectuel (QI < 70) stratifié selon l'âge gestationnel (GA) et le poids de naissance (BW). Revue issue de Arpino et al (2010)*** **31**

Tableau 4 ***Temps de tenue total, temps de tenue des 2 premiers essais, nombre moyen d'essais lors de la phase d'habituation et temps de tenue moyen de 2 essais consécutifs lors de la phase test (moyennes (écart-types)) en fonction des 8 caractéristiques des antécédents médicaux [étude 1]*** **93**

Tableau 5 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction de la main testée et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation [étude 1]*** **96**

Tableau 6 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales des enfants prématurés [étude 1]*** **96**

Tableau 7 ***Données individuelles : temps de tenue des deux derniers essais et leurs moyennes, et temps de tenue des essais tests 1 et 2 et leurs moyennes pour chaque participant (S) et chaque groupe (expérimental vs. contrôle). En italique : données à modifier; en italique et entre parenthèses : données modifiées; en gras : moyenne des temps de tenue pour chaque groupe [étude 1]*** **97**

Tableau 8 ***Comparaison des paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) entre les nouveau-nés prématurés et à terme. t indique les résultats des tests de Student (* p < 0,05 ; *** p < 0,001) [étude 1]*** **99**

Tableau 9 ***Temps de tenue lors de la phase test (moyennes et (écart-types)) entre les nouveau-nés prématurés et à terme [étude 1]*** **100**

Tableau 10 ***Caractéristiques générales des enfants en fonction du groupe de prématurité [étude 2]*** **107**

Tableau 11 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales de l'ensemble des enfants prématurés habitués (N=80) [étude 2]*** **112**

Tableau 12 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]*** **114**

Tableau 13 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]*** **115**

Tableau 14 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]*** **118**

Tableau 15 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]*** **119**

Tableau 16 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]*** **122**

Tableau 17 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]*** **123**

Tableau 18 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe de prématurité (grande vs. moyenne vs. petite) chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours (N = 53) [étude 2]*** **126**

Tableau 19 ***Tableau récapitulatif des résultats de l'étude 2*** **131**

Tableau 20 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction de la main testée et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation [étude 3]*** **142**

Tableau 21 ***Comparaison des paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) entre les enfants prématurés et les nouveau-nés à terme*** **..... 156**

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 : *résumé du chapitre 1* ……...……47

Encadré 2 : *résumé du chapitre 2* ……...……83

Encadré 3 : *résumé de l'étude 1* ……..……103

Encadré 4 : *résumé de l'étude 2* ……..……136

Encadré 5 : *résumé de l'étude 3* ……...……148

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, le nombre de naissances prématurées n'a cessé d'augmenter. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'en 2005, 12,9 millions de naissances, soit 9,6 % de la natalité mondiale totale, sont intervenues avant terme (Beck et al., 2010). En France, 44000 enfants naissent prématurément chaque année avant 37 semaines d'aménorrhée (SA) (Dalla Piazza & Lamotte, 2009). Près de 7000 enfants naissent grands prématurés chaque année en France. La grande prématurité est définie par une naissance avant 33 SA, ce qui correspond à une naissance avant la fin du 7ème mois de grossesse. Près d'un tiers d'entre eux nécessite une prise en charge médicale ou paramédicale (Larroque et al., 2008). C'est pourquoi la prématurité doit être considérée comme un véritable problème de santé publique.

Avant les années 1970, 80 % des enfants pesant moins de 1200 grammes mouraient. Depuis 1980, les chiffres se sont inversés et 80% des enfants nés prématurément survivent (Dalla Piazza & Lamotte, 2009). En vingt ans, la médecine néonatale a considérablement évolué grâce au développement des soins médicaux qui ont révolutionné le pronostic vital du prématuré. Ainsi, longtemps préoccupés par leur combat contre la mort, absorbés par la maîtrise des techniques de plus en plus sophistiquées et efficaces, les spécialistes de néonatologie n'ont été que récemment attentifs aux caractéristiques et aux effets de l'environnement de l'enfant prématuré. Les connaissances sur le développement de ces enfants sont encore limitées. Peu de recherches ont été réalisées en France sur le devenir des enfants et aucune étude n'était allée au delà de 2 ans. C'est pourquoi l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) a lancé depuis janvier 1997 une grande étude de cohorte intitulée EPIPAGE (Etude EPIdémiologique sur les Petits Ages GEstationnels). L'objectif principal de l'étude est de pouvoir apprécier le devenir des enfants grands prématurés. L'étude a aussi pour but d'estimer la fréquence de la grande prématurité, la fréquence des pathologies de la période néonatale et la survie des enfants, d'étudier les causes de la grande prématurité, décrire la prise en charge obstétricale et néonatale vis-à-vis de la grande prématurité, évaluer les conséquences pour la famille de l'accueil et la prise en charge de ces enfants. La population étudiée comprend l'ensemble des naissances d'enfants grands prématurés, naissances survenues entre 22 et 32 semaines de gestation ou avec un poids de naissance inférieur à 1500 grammes dans neuf régions de France. Deux groupes de comparaison ont été constitués : un groupe de naissances à 33-34 semaines de gestation et un groupe de naissances à terme. Au total, 2573 enfants grands prématurés, 347 enfants nés à 33 ou 34 semaines d'âge gestationnel et 558 enfants nés à terme sont inclus dans le suivi de l'étude. A l'âge de 5 ans un bilan de santé de l'enfant est proposé aux familles. Ce bilan

indique que 42 % des enfants nés entre 24 et 28 SA (très grande prématurité) et 31 % de ceux nés entre 29 et 32 SA (grande prématurité) nécessitent des soins spécialisés à l'âge de 5 ans, contre 16 % de ceux nés à terme. Près de 40 % des grands prématurés présentent des séquelles à l'âge de 5 ans. Les troubles qu'ils soient moteurs, sensoriels ou cognitifs, sont sévères dans 5 % des cas et modérés pour 9 % des enfants qui ont été suivis (Larroque et al., 2008). Une nouvelle étude de cohorte, EPIPAGE 2, débutera en France en 2011. Des études similaires de cohorte existent aussi en Europe avec l'étude EPIBEL en Belgique ou l'étude EPICURE en Angleterre et en Irlande.

Les troubles développementaux observés chez les enfants prématurés ont amené les professionnels à s'intéresser aux stimulations sensorielles précoces qui s'avèrent être inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral. La question de la protection des fonctions cérébrales est maintenant un des thèmes d'intérêt en néonatologie. C'est sur la plasticité cérébrale et la meilleure gestion des stimulations sensorielles que sont fondés les espoirs liés aux programmes de soins de développement. L'objectif de ces programmes est double : ils ont une action préventive et thérapeutique. Les soins du développement constituent une approche de soins individualisés, c'est-à-dire que l'environnement qui entoure chaque nouveau-né est adapté en fonction de son niveau de développement. De façon concrète, ces soins visent à réduire le stress du nouveau-né malade ou prématuré et à lui offrir des conditions optimales pour son développement. Les effets bénéfiques des programmes d'interventions précoces intégrant la modalité tactile comme une composante essentielle suggèrent qu'il existe des effets spécifiques de la stimulation tactile qui restent à éclaircir. La modalité tactile semble être une modalité clé chez les enfants prématurés, modalité sur laquelle on ne sait encore que peu de choses dans cette population. Le travail de recherche que nous présentons ici a pour objectif de mieux comprendre les compétences tactiles précoces des enfants afin de pouvoir apporter des pistes de réflexion dans le cadre des soins de développement.

Dans la partie théorique de ce travail de thèse, le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'enfant prématuré, de ses compétences précoces et de son environnement de vie, aux risques sensoriels et cognitifs à moyen et long terme relatifs à la prématurité et enfin à la présentation de programmes d'intervention existant qui tentent de minimiser ces risques et d'optimiser leur développement futur. Le second chapitre s'intéressera au système tactile et plus particulièrement, à la façon dont les propriétés de l'objet sont traitées par les adultes puis par les nouveau-nés.

Dans ce travail de thèse composé de trois études, nous allons nous intéresser à la modalité tactile chez les enfants prématurés et de manière plus spécifique au traitement haptique manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision. Tout d'abord, nous présenterons une étude, qui nous a servi d'étude pilote, sur les compétences (intra-main) des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets (prisme *vs.* cylindre). Ensuite, nous nous intéresserons à l'évolution de ces compétences tactiles manuelles en fonction du degré de prématurité. Enfin, nous présenterons une étude les compétences (inter-main) des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme d'objet avec une main et détecter une différence de forme avec l'autre main.

PARTIE THÉORIQUE

CHAPITRE 1. PREMATURITE ET SENSORIALITE

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter un état de l'art des recherches conduites auprès des enfants prématurés en tentant de répondre à plusieurs questions. Qu'est-ce qu'une naissance prématurée et en quoi la naissance prématurée est-elle un problème de santé publique ? Quelles compétences les chercheurs ont-ils mises en évidence chez ces enfants et en quoi l'environnement de néonatologie peut-il influer sur celles-ci ? Quels sont les risques sensoriels et cognitifs à moyen et long terme d'une naissance prématurée ? Quels sont les programmes d'intervention existant qui tentent de minimiser ces risques et d'optimiser leur développement futur ? Quels sont leurs effets bénéfiques et leurs limites ?

1.1. PRESENTATION DE L'ENFANT PREMATURE

Dans cette partie, nous allons tout d'abord définir ce qu'est une naissance prématurée ainsi que les termes importants qui lui sont associés. Puis, nous nous intéresserons à la prévalence de la prématurité à différents niveaux géographiques pour mettre en évidence l'importance de considérer la prématurité comme un véritable problème de santé publique. Ensuite, nous dresserons un bilan des causes qui peuvent expliquer le déclenchement d'une naissance prématurée, même si celles-ci ne sont pas toujours connues.

1.1.1. Définitions

Selon les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, la naissance prématurée survient avant 37 semaines d'aménorrhée (SA) révolues (avant 8 mois de grossesse), définie par le 1er jour des dernières règles. Rappelons qu'une naissance à terme se situe entre 38 et 42 SA. La limite de viabilité d'un fœtus est établie à 22 SA, avec un poids d'au moins 500 grammes, viabilité déterminée en fonction de sa capacité à survivre en milieu extra-utérin. Si l'accouchement survient avant cette limite, on ne parlera pas de naissance prématurée mais de naissance avortée. Pour aborder la prématurité, nous parlerons d'âge gestationnel, exprimé en Semaines d'Aménorrhée (SA) : durée de gestation dans le ventre de

la mère jusqu'à l'accouchement prématuré ou à terme qui se compte à partir du premier jour des dernières règles (date plus facile à déterminer). Nous parlerons aussi d'âge post-natal : âge de l'enfant à moment t (moment de l'étude par exemple), calculé à partir du jour de l'accouchement. L'âge post-conceptionnel correspond à l'addition de l'âge gestationnel et de l'âge post-natal. L'âge post-conceptionnel est la valeur de référence lorsque l'on traite de développement biologique et l'âge post-natal, lorsque l'on traite d'expérience avec l'environnement (extra-utérin). Enfin, afin de rendre compte des différences éventuelles issues d'une naissance prématurée, les chercheurs recourent souvent à une correction de l'âge post-natal : l'âge corrigé. Il correspond à son âge post-natal diminué de l'écart qui sépare sa date de naissance de la date où il a atteint le terme normal de gestation, soit 40 SA. Ces différentes notions d'âges sont présentées dans la Figure 1 :

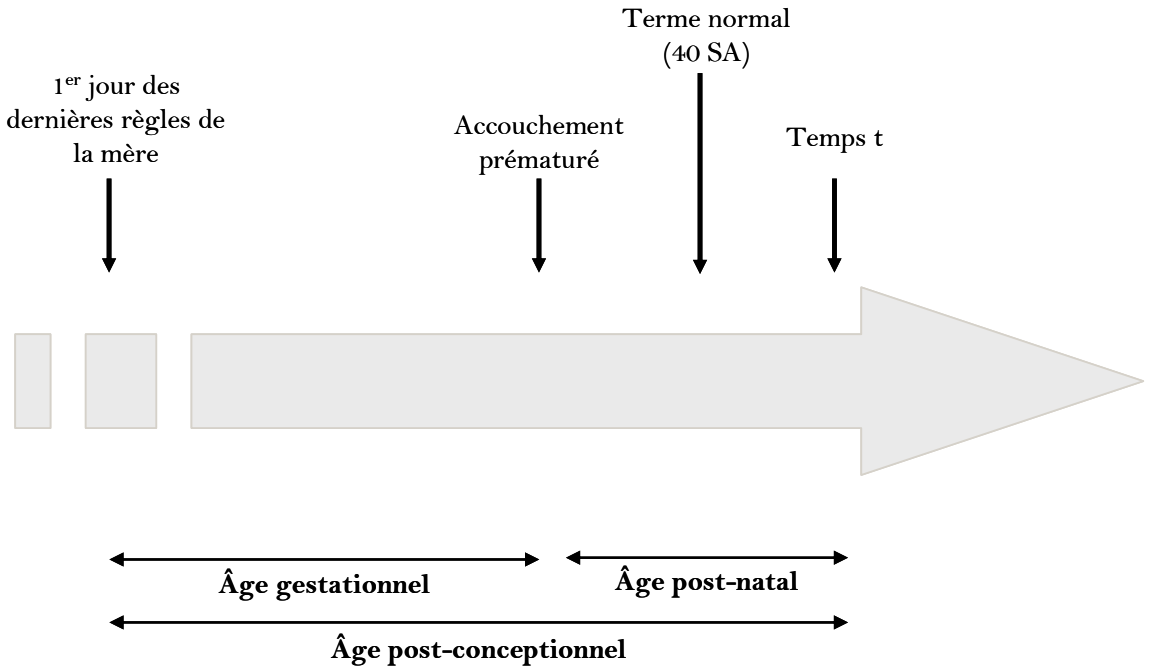

Figure 1 ***Présentation des différents âges utilisés chez l'enfant prématuré selon un axe chronologique***

L'âge gestationnel va permettre de distinguer 4 grands groupes de prématurité présentés dans le Tableau 1. Ces groupes sont établis en fonction des risques spécifiques auxquels les prématurés sont exposés dans une tranche d'âge donnée, tels que le taux de mortalité[1], le taux de morbidité, les séquelles ultérieures. Le Tableau 1 présente le pourcentage de naissances prématurées dans chaque tranche d'âge.

[1] La mortalité est le nombre de décès annuels rapporté au nombre d'habitants d'un territoire donné. Elle se distingue de la morbidité: nombre de malades annuels rapporté à la population.

	Age gestationnel	% des naissances prématurées
Très grande prématurité	< 28 SA	5 %
Grande prématurité	28 à 31 SA	15 %
Moyenne prématurité	32 à 33 SA	20 %
Petite prématurité	34 à 36 SA	60 %

Tableau 1 ***Pourcentage moyen de naissances prématurées dans chacun des 4 grands groupes de prématurité selon l'âge gestationnel. Adapté de Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero (2008)***

1.1.2. Epidémiologie de la prématurité

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'en 2005, 12,9 millions de naissances, soit 9,6 % de la natalité mondiale totale, sont intervenues avant terme (Beck et al., 2010). Environ 11 millions (85 %) de ces naissances prématurées étaient concentrées en Afrique et en Asie, tandis que l'Europe et l'Amérique du Nord (Mexique inclus) accueillaient chacune 0,5 million de naissances de ce type et l'Amérique latine et les Caraïbes 0,9 million. Les taux de prématurité les plus élevés étaient relevés en Afrique et en Amérique du Nord (11,9 % et 10,6 % de l'ensemble des naissances, respectivement) et les plus bas en Europe (6,2 %).

Goldenberg, Culhane, Iams et Romero (2008) ont recensé un certain nombre de données épidémiologiques sur l'évolution de la prématurité aux Etats-Unis et en Europe. Ainsi, aux Etats-Unis, le pourcentage moyen de naissances prématurées en 2005 était de 12,7 % alors qu'en Europe il était de 5 à 9 %. Les naissances prématurées ont subi une forte augmentation notamment dans les pays les plus industrialisés, comme aux Etats-Unis, où elles représentaient 9,5 % des naissances en 1981 et 12,7 % en 2005. En France, la Direction de la Recherche des Etudes de l'Evaluation et des Statistiques (Drees) a aussi recensé une augmentation des naissances prématurées entre 1995 et 2003 (Vilain, de Peretti, Herbet, & Blondel, 2005). Ces résultats sont présentés dans le Tableau 2.

	1995	1998	2003
Prématurité (< 37 semaines)			
Toutes naissances	5,9	6,8	7,2
Naissances vivantes	5,4	6,2	6,3

Source : enquêtes nationales périnatales 1995, 1998 et 2003, Inserm, Drees, DGS, conseils généraux.

Tableau 2 ***Evolution du nombre d'enfants prématurés selon l'état de la naissance en 1995, 1998 et 2003 en France. Adapté de Vilain, de Peretti, Herbet et Blondel (2005)***

En France, 10 000 grands prématurés naissent chaque année avant 33 SA selon l'enquête EPIPAGE (Etude EPIdémiologique sur les Petits Ages GEstationnels). Cette étude montre que 42 % des enfants nés entre 24 et 28 SA (très grande prématurité) et 31% de ceux nés entre 29 et 32 SA (grande prématurité) nécessitent des soins spécialisés à l'âge de 5 ans, contre 16 % de ceux nés à terme. Près de 40 % des grands prématurés présentent des séquelles à l'âge de 5 ans. Les troubles qu'ils soient moteurs, sensoriels ou cognitifs, sont sévères dans 5 % des cas et modérés pour 9 % des enfants qui ont été suivis (Larroque et al., 2008). Si le taux de mortalité de ces enfants nés à moins de 33 SA a fortement diminué du fait des progrès médicaux, près d'un tiers d'entre eux nécessite toujours une prise en charge médicale ou paramédicale. C'est pourquoi la prématurité doit être considérée comme un véritable problème de santé publique. La question des conséquences de la prématurité sur le développement à moyen et long terme sera abordée de manière plus approfondie par la suite.

1.1.3. Pourquoi naît-on prématurément ?

Dans plus de 50 % des cas, la cause de la naissance prématurée est ignorée. Les causes de la prématurité sont multiples et souvent intriquées. Il y a des facteurs obstétricaux (grossesses multiples, malformations utérines, hydramnios, retard de croissance intra-utérin, etc.), maternels (infections à streptocoque B, listériose, diabète, toxémie, etc.), fœtaux (malformations chromosomiques, etc.) et socio-économiques. On peut classer les accouchements prématurés en deux grands groupes, en fonction de la nature spontanée ou provoquée de celui-ci. On distinguera donc la prématurité dite « spontanée » qui correspond à 70 % des naissances prématurées et la prématurité dite « provoquée » qui correspond à 30 % des naissances prématurées (Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero, 2008; Mellier, 2004).

1.1.3.1. La prématurité spontanée (70 %)

Elle est la conséquence d'un déclenchement inopiné du travail aboutissant à une naissance entre les limites de viabilité du fœtus et la fin de la 36ème semaine. Elle peut s'expliquer par différents phénomènes tels que les grossesses multiples, les malformations utérines, l'hydramnios, des origines infectieuses, ou alors n'y avoir aucune raison avérée, ce que l'on nomme la prématurité idiopathique.

❖ Grossesses multiples

Les grossesses multiples représentent 15 à 20 % du total des naissances prématurées. Dans le cas des naissances gémellaires, 60 % d'entre elles sont prématurées dont 40 % sont spontanées. Au-delà (à partir de 3 enfants), la naissance prématurée est quasi systématique. Physiologiquement, ce phénomène s'explique par une distension utérine trop importante provoquant des contractions et une rupture prématurée des membranes (Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero, 2008; Romero et al., 2006).

❖ Malformations utérines

Dans la majorité des cas, les causes de ces malformations sont bien souvent inconnues. Elles peuvent cependant être causées par la prescription de médicaments, comme le bien triste exemple du « DES syndrome ». Dans les années 60, une molécule, le diéthylstilboestrol (plus connue en France sous le nom de distilbène), était prescrite à des femmes enceintes pour prévenir la prématurité. Vingt plus tard, on va découvrir chez les enfants devenus jeunes filles de ces femmes, une malformation utérine (un symptôme parmi tant d'autres).

❖ Hydramnios

L'hydramnios correspond à une quantité trop importante de liquide amniotique, dont le risque le plus important est un accouchement prématuré. De façon générale, l'hydramnios constitue une menace sévère d'accouchement prématuré et de risques sur la mère. On distingue l'hydramnios aigu de l'hydramnios chronique. L'hydramnios aigu survient relativement brutalement, le plus souvent au deuxième trimestre, et est à l'origine d'une augmentation très rapide du volume de l'abdomen. L'hydramnios chronique (plus fréquent) survient généralement au troisième trimestre. Ce type d'hydramnios est mieux supporté. Grâce à un traitement, il est possible d'atteindre le plus souvent la viabilité fœtale. Néanmoins, l'accouchement est de façon générale prématuré.

❖ Infections

On distingue les infections génito-urinaires (streptocoque B, Escherichia Coli) et les infections généralisées (grippe, rubéole, toxoplasmose, listériose). C'est la cause la plus fréquente des accouchements prématurés. Qu'elles se situent au niveau du vagin, des voies urinaires ou même des dents, ces infections se traduisent toutes par une inflammation qui favorise l'apparition des contractions. La fièvre qui peut accompagner une maladie virale

comme la grippe, peut également être à elle seule un facteur déclenchant. Les plus fréquentes sont les infections vaginales.

❖ Idiopathies

Le recours au terme idiopathique est fréquent. La maladie idiopathique est définie comme « ayant son existence propre indépendamment de toute autre maladie ou de toute cause connue ». Au cours des dernières années, ce cadre s'est considérablement rétréci notamment grâce à l'identification d'un certain nombre d'infections. Toutefois, d'autres facteurs à risque tels que les facteurs socio-économiques et psychiques sont autant de pistes à explorer pour avoir de nouveaux éléments de réponse.

1.1.3.2. La prématurité provoquée (30 %)

La prématurité provoquée est définie par une césarienne ou un déclenchement avant toute mise en travail spontané. Elle est la conséquence d'une décision du corps médical pour la sauvegarde fœtale et / ou maternelle. La prématurité provoquée survient surtout dans un contexte d'hémorragie, de pré-éclampsie (défaut de vascularisation du placenta compensé par une hypertension artérielle et une réduction de la perfusion de tous les organes), de Retard de Croissance Intra-Utérin (RCIU) ou de souffrance fœtale. Elle représente 42 % des naissances d'enfants nés avant 33 SA en France.

1.1.3.3. Facteurs à risque

Dans cette partie, nous allons seulement énumérer quelques facteurs à risque de naissance prématurée, sachant qu'il en existe un très grand nombre (pour une revue, Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero, 2008). Les antécédents obstétricaux pathologiques sont par exemple, des facteurs à risque importants de prématurité. En effet lors d'une seconde grossesse, la probabilité qu'elle se termine au même âge gestationnel que la première est très importante (Ananth, Getahun, Peltier, Salihu, & Vintzileos, 2006). Les autres facteurs à risque classiquement évoqués pour la prématurité spontanée sont la situation sociale défavorisée (Thompson, Irgens, Rasmussen, & Daltveit, 2006), l'appartenance à certains groupes ethniques (Ananth & Vintzileos, 2006; Goldenberg, Culhane, Iams, & Romero, 2008), ou encore le stress, aussi bien psychologique que social (Copper et al., 1996).

1.1.3.4. Principales causes de l'augmentation de la prématurité

Comme nous l'avons vu précédemment, les naissances prématurées ont augmenté, notamment dans les pays industrialisés. Quelles pourraient être les raisons de cette augmentation vu que les suivis de grossesses ne cessent de s'améliorer grâce notamment aux techniques d'imagerie ? Tout d'abord, le nombre d'enfants grands prématurés qui survivent ne cessent d'augmenter grâce aux progrès continuels de soins médicaux prodigués. De plus, une étude danoise suggère que les enfants conçus par certaines techniques de fécondation présentent un risque plus important de prématurité (Wisborg, Ingerlev, & Henriksen, in press). Les scientifiques se fondent sur les données de 20 000 accouchements : alors que 5 % des bébés conçus naturellement étaient prématurés (naissance avant 37 SA) et 0,6 % grands prématurés (naissance avant 32 SA), ils retrouvent un taux de prématurité de 8 % et un taux de grande prématurité de 1,5 % chez les enfants conçus par fécondation in vitro (FIV) ou par injection intracytoplasmique de sperme. En prenant en compte d'autres facteurs à risque tels que le poids, l'âge de la mère ou encore le tabagisme maternel, les deux techniques de fécondation augmentent encore le risque de prématurité de 53 % et le risque de grande prématurité de 100 %. A noter que les autres techniques d'aide à la fécondation ne semblent pas augmenter ce risque. De plus, l'enquête faite par la Drees met en évidence un certain nombre de caractéristiques maternelles d'enfants prématurés qui ont augmenté entre 1995 et 2003 (Vilain, de Peretti, Herbet, & Blondel, 2005) : la proportion de mères de plus de 35 ans et plus est passée de 12,5 % en 1995 à 16 % en 2003, la proportion de mères travaillant pendant la grossesse est passée de 60,2 % en 1995 à 66 % en 2003. Les femmes ayant une activité physique trop importante (station debout prolongée, transports quotidiens trop pénibles ou trop longs, mouvements pénibles, efforts intenses ou répétitifs, stress, travail pénible, famille nombreuse) auront plus de risque d'accoucher prématurément.

1.2. LES COMPETENCES SENSORIELLES PRECOCES DE L'ENFANT PREMATURE

Les organes des sens et les systèmes sensoriels de l'enfant prématuré sont encore plus inachevés que ceux du nouveau-né à terme. La maturation progressive des différents sens suit un ordre chronologique invariant aussi bien chez de nombreux mammifères et oiseaux que chez l'être humain : d'abord le toucher, puis l'olfaction, le goût, l'audition et

enfin la vision. Dans cette partie, nous allons présenter les compétences sensorielles précoces de l'enfant prématuré, à l'exception du toucher qui fera l'objet du chapitre 2.

1.2.1. L'olfaction

Le système olfactif humain est complexe, constitué de trois groupes de récepteurs logés dans les cavités nasales. Le premier groupe formant le système olfactif principal est localisé au sommet des fosses nasales et constitué de cellules ciliées sensibles à une large variété de stimulations olfactives. Ces récepteurs se forment entre 8 et 12 SA. Un deuxième groupe de récepteurs forme le système trigéminal, constitué des terminaisons nerveuses du nerf trijumeau qui innerve l'ensemble de la paroi nasale. Ces terminaisons sont à l'origine de sensations telles que la fraîcheur du menthol, le piquant du piment ou l'irritant de l'ammoniaque. Elles se forment entre 4 et 8 SA. Enfin, le système voméronasal dont la fonction demeure inconnue chez l'être humain, se développe entre 8 et 20 SA, puis disparaît au cours de la vie fœtale chez une grande majorité des enfants (Marlier, 2009). Chez le fœtus humain, la démonstration directe de l'olfaction fœtale est difficile à obtenir pour des raisons éthiques évidentes. C'est pourquoi, l'observation de l'enfant prématuré va être d'autant plus intéressante. Ainsi, un premier exemple indiquant que l'enfant prématuré est sensible aux odeurs nous a été fourni par Stirnimann (1936) qui avait noté l'apparition de mouvements buccaux liés à la présentation d'une odeur anisée chez un nouveau-né prématuré né au début du 6ème mois de gestation (Marlier, Gaugler, Astruc, & Messer, 2007). Dans le but de vérifier l'aptitude du nouveau-né prématuré à détecter des odeurs de faible intensité, une expérience a été menée en analysant les variations de la fréquence respiratoire lors de la présentation de trois stimuli : un témoin inodore (eau) et deux odeurs (vanille et acide butyrique) diluées de façon à obtenir une intensité voisine de celle du liquide amniotique (Marlier, Schaal, Gaugler, & Messer, 2001). Ces odeurs ont été présentées sur des cotons-tiges à 24 enfants prématurés âgés de 29 à 34 SA (nés entre 28 et 33 SA). D'une part, les résultats font apparaître que les deux odeurs entraînent une modification de la fréquence respiratoire contrastant avec l'absence de réponse au stimulus témoin, indiquant que les enfants prématurés nés 2 mois avant terme sont capables de détecter des odeurs de faible intensité et que leur sensibilité olfactive pourrait être comparable à celle observée chez le nouveau-né à terme. D'autre part, les courbes de réponses respiratoires induites par les deux odeurs suivent un profil distinct indiquant que l'enfant prématuré est capable de discriminer la qualité des odeurs.

Pour tester l'aptitude de l'enfant prématuré à différencier des odeurs de qualité ou d'intensité différentes, les réponses de 13 prématurés âgés de 35 SA (nés à 34 SA) exposés successivement à deux odeurs qui diffèrent en qualité et en intensité ont été étudiées : une odeur huileuse (acide nonanoïque) et une odeur à forte composante trigéminale (eucalyptol) (Pihet, Mellier, Bullinger, & Schaal, 1997). Les mouvements corporels et faciaux étaient analysés en continu. Pour les deux stimulations, les réponses vont dans le sens d'une augmentation de l'activité motrice. Cependant une différence de distribution temporelle des réponses est observée, ce qui atteste de la discrimination : pour l'eucalyptol la réponse est quasi immédiate alors que pour l'acide nonanoïque, l'activation motrice atteint son intensité maximale entre 5 et 10 secondes après le retrait du stimulus. Une autre étude a utilisé le paradigme d'habituation / déshabituation pour attester de la finesse de discrimination olfactive du prématuré (Goubet et al., 2002). Dans cette étude, 20 prématurés âgés de 33 SA (nés à 32 SA) et 32 nouveau-nés à terme âgés de 3 jours ont été exposés de façon répétée (à raison de 10 périodes de 10 secondes espacées de 60 secondes) à une première odeur puis soumis à une seconde odeur (anis puis vanille ou vanille puis anis). Tout d'abord, les résultats mettent en évidence qu'après une présentation répétée du stimulus olfactif, une extinction progressive des mouvements faciaux est observée, révélant ainsi la capacité du prématuré à mémoriser une odeur. Ensuite après la phase d'habituation, un regain de la réponse faciale à la présentation du second stimulus est également constaté, indiquant une discrimination des odeurs. Cette variation de réactivité entre les deux stimuli est similaire chez les enfants nés à terme et les prématurés, suggérant des performances discriminatrices olfactives comparables.

La mémoire olfactive et ses bienfaits ont été étudiés dans une autre expérience (Goubet, Rattaz, Pierrat, Bullinger, & Lequien, 2003), un foulard odorisé à la vanille est introduit dans l'incubateur et placé à proximité de la tête de 8 prématurés âgés de 32 SA (nés à 31 SA) pendant 17 heures en moyenne. Le foulard est ensuite retiré de la couveuse et après un délai sans exposition à l'odeur (15 minutes), les enfants sont réexposés au foulard vanillé alors qu'ils subissent une ponction sanguine. Ils présentent alors moins de pleurs et de mimiques négatives pendant le prélèvement sanguin que des enfants témoins qui n'ont pas été préalablement exposés à la vanille. Cette expérience indique que l'enfant prématuré est apte à effectuer des apprentissages olfactifs et qu'il mémorise les notes odorantes présentes à l'intérieur de l'incubateur. La détection d'odeur selon une valence émotionnelle a été mise en évidence avec la méthode NIRS[2] qui enregistre les changements de concentration en

[2] *Near-infrared spectroscopy*: imagerie spectroscopique proche infrarouge, c'est une technique analytique non destructive basée sur le principe d'absorption de rayonnements électromagnétiques par la matière

hémoglobine lors d'activations corticales. Cette expérience a consisté à proposer deux odeurs déplaisantes (détergent et désinfectant) présentes quotidiennement dans le milieu du prématuré. Les résultats révèlent une diminution significative en hémoglobine dans l'aire orbito-frontale olfactive (Bartocci et al., 2001) alors qu'une odeur plaisante telle que la vanille provoque une augmentation en hémoglobine dans cette même aire cérébrale chez des nouveau-nés à terme (Bartocci et al., 2000).Ces données suggèrent donc que l'enfant prématuré est également capable de discriminer des odeurs plaisantes et déplaisantes.

1.2.2. La gustation

Des bourgeons gustatifs morphologiquement différenciés sont apparents dès 13 à 15 SA et leur accès à des stimulations potentielles (ouverture des pores gustatifs) intervient autour de 16 à 20 SA (Granier-Deferre, Schaal, & DeCasper, 2004). Sur le plan fonctionnel, les données fœtales humaines sont rares et encore sujettes à caution. Mais il est aussi difficile d'étudier les compétences gustatives précoces des enfants prématurés. En effet, la majorité des enfants est nourrie par sonde gastrique avec du lait maternisé, ce qui signifie que le lait va directement dans l'estomac, sans expérience gustative. Une des rares études menée sur ce sujet porte sur leur capacité de discrimination (Tatzer, Schubert, Timischl, & Simbruner, 1985). Les auteurs enregistrent les comportements de succion non nutritive chez 8 enfants prématurés âgés de 35 SA n'ayant pas d'expérience gustative extra-utérine. Cette étude consiste à leur présenter quotidiennement deux goûts différents (eau sucrée *vs.* non sucrée) avant l'alimentation par sonde. Les résultats montrent que leur réponse de succion augmente avec l'exposition répétée d'une saveur sucrée alors qu'elle n'est pas modifiée par l'exposition répétée d'eau. L'enfant prématuré serait donc capable dès l'âge de 35 SA de discriminer les saveurs sucrées de celles non sucrées, en montrant une préférence pour le sucré.

Gustation et olfaction sont très souvent associées dans les études faites sur les enfants prématurés car les sensibilités chimiques qui donnent accès aux odeurs et au goût le sont aussi. Ainsi, les molécules volatiles odorantes libérées par la nourriture par exemple, sont capturées dans la cavité nasale et peuvent être détectées aussi bien par l'odorat que par le goût, liant ainsi ces deux modalités (Brown, 2008). Des expériences ont mis en évidence une amélioration de la succion non nutritive suite à l'exposition de l'odeur du lait maternel chez l'enfant prématuré âgé de 33 à 36 SA alors que l'exposition à une solution aqueuse ne semble produire aucun changement (Bingham, Abassi, & Sivieri, 2003; Bingham, Churchill, & Ashikaga, 2007). Malgré la rareté des études concernant les compétences gustatives

précoces de l'enfant prématuré, elles révèlent des capacités de discrimination gustative. C'est la situation de prématurité qui prive l'enfant d'expériences gustatives dans ses premières semaines de vie. Conscients de ces problèmes, les professionnels des services de néonatologie incluent dès que possible l'allaitement, sinon le lait maternel, dans l'alimentation de l'enfant prématuré.

1.2.3. L'audition

L'oreille se forme autour de 3 SA et la cochlée est formée à 10 SA. Elle atteint sa taille définitive vers 20 SA. Les cellules ciliées sont toutes formées à 14 SA. Ainsi le système auditif est anatomiquement complet à la naissance (Bloch, Lequien, & Provasi, 2003). Le fœtus humain est capable de produire des réponses physiologiques à une stimulation sonore dès 23 à 25 SA et il est suffisamment mature pour permettre un apprentissage auditif dès 30 à 32 SA (Graven, 2000). Le seuil d'audition, c'est-à-dire le niveau sonore au-dessous duquel l'oreille d'une personne ne perçoit aucun son, est de 40 dB chez l'enfant prématuré de 28 à 34 SA, il est de 30 dB entre 35 et 38 SA et de 20 dB chez les enfants à terme (Lary, Briassoulis, de Vries, Dubowitz, & Dubowitz, 1985). Afin d'étudier les compétences auditives des fœtus, des prématurés ou des nouveau-nés à terme, les chercheurs utilisent très souvent une procédure d'habituation / déshabituation. Dans la modalité auditive, cette procédure consiste à présenter de manière répétitive un même son jusqu'à obtenir une diminution de la réponse mesurée (comportementale, cardiaque, etc.), puis à présenter un son nouveau. Cette procédure a pour objectif de tester si l'enfant est capable de comparer et de faire la différence entre deux stimuli sonores. Cette capacité d'habituation est considérée comme un mécanisme de protection du jeune enfant, mais elle représente également une forme précoce d'apprentissage qui témoigne de l'intégrité du système nerveux central de l'enfant.

Une étude a comparé les réponses comportementales (mouvements des membres) et cardiaques entre 18 prématurés d'âge post-conceptionnel de 37 SA (nés à 33 SA) et 18 nouveau-nés à terme âgés de 3 jours ayant tous été habitués avec un son de hochet ou de sonnette (Field, Dempsey, Hatch, Ting, & Clifton, 1979). Les résultats montrent que les enfants à terme présentent une diminution des réponses cardiaques et comportementales lors de l'habituation alors que les enfants prématurés présentent seulement une diminution de la réponse comportementale. Cette différence entre les deux populations peut s'expliquer par un seuil d'habituation plus important chez les prématurés, seuil qui n'aurait donc pas été atteint dans cette étude. Précisons néanmoins que les auteurs n'ont pas contrôlé les

antécédents médicaux des prématurés ni les états d'éveils de tous les enfants, facteurs pouvant influencer les réponses d'habituation. A l'inverse, une étude plus récente utilisant les potentiels évoqués auditifs, a mis en évidence une capacité de discrimination de sons de fréquences différentes chez 6 enfants prématurés d'âge post-conceptionnel de 40 SA (nés à 28 SA) similaire à celle observée chez 11 enfants nés à terme et âgés de 3 jours (Weber, Hetzel, & Lütschg, 2007). Cependant d'autres travaux ont montré que cette capacité semble être dépendante de l'âge gestationnel des enfants prématurés. En effet, les potentiels évoqués auditifs sont de plus petites amplitudes chez les prématurés nés avant 30 SA que ceux nés après 30 SA (Bisiacchi, Mento, & Suppiej, 2009). White-Traut et ses collaborateurs (2009) ont étudié longitudinalement la maturation de la réponse cardiaque lors d'une procédure d'habituation / déshabituation avec des sons de 65 dB différant en fréquence, chez 12 enfants prématurés de 32 SA jusqu'à leur sortie de l'hôpital (en moyenne 36 SA). Au cours du temps, la maturation induit une décélération cardiaque plus rapide et qui se prolonge en réponse à un nouveau stimulus. A 36 SA, les enfants montrent une réaction rapide au changement de stimulus. La plus faible réponse des enfants de 34 et 35 SA reflèterait l'instabilité des mécanismes de contrôle cardiaque car la relation d'homéostasie entre les mécanismes de contrôle parasympathique et sympathique n'est pas encore complètement développé à ces âges (Hata et al., 2005). Cette étude met en évidence l'interaction entre la maturation du système cardiaque et un processus d'apprentissage, l'habituation. En résumé, l'ensemble de ces études révèlent que les enfants prématurés possèdent déjà des compétences auditives d'habituation et de discrimination dès 34 SA.

Un autre champ d'étude concernant les compétences auditives porte sur la reconnaissance de la voix de la mère. Une première étude montre que 30 enfants prématurés âgés de 36 SA (nés entre 28 et 32 SA) exposés plusieurs semaines à la voix de leur mère (30 min / jour) présentent des changements de rythme cardiaque plus importants que les 30 autres enfants prématurés qui n'ont pas été exposés (Segall, 1972). De plus, leurs résultats indiquent que les réponses cardiaques sont aussi fonction de l'état d'éveil et notamment lorsque l'enfant pleure, la voix de sa mère l'apaise. Une seconde étude a comparé 35 grands prématurés de 40 SA (nés vers 28 SA) et 40 enfants nés à terme âgés de 2 jours, en enregistrant des potentiels évoqués lors d'une tâche de discrimination de voyelles d'une part et une tâche de discrimination voix de la mère / voix d'une étrangère d'autre part (Therien, Worwa, Mattia, & deRegnier, 2004). Les résultats révèlent une discrimination des voyelles par les deux populations, mais une absence de reconnaissance de la voix de la mère chez les prématurés. Enfin, une troisième étude utilisant l'IRMf chez 6 prématurés de 40 SA (nés vers 28 SA) indique que, contrairement aux résultats de l'étude précédente, ces enfants

arrivent à discriminer la voix de leur mère par rapport à du bruit (Simon et al., 2009). Ils arrivent même à discriminer la voix de leur mère lisant une phrase dans le bon sens et cette même voix lisant une phrase à l'envers. Ce deuxième résultat met en évidence la capacité précoce de décodage phonologique qu'auraient les enfants prématurés. Les résultats portant sur la reconnaissance de la voix de la mère sont contradictoires mais l'utilisation de méthodologies différentes pourrait en être la cause. De plus, notons le très faible effectif de la dernière étude (N=6) dont les résultats contredisent ceux des deux précédentes.

1.2.4. La vision

Le système visuel est le dernier à se former dans la vie fœtale. L'œil est visible à l'échographie autour de 12 SA, mais il faut attendre 16 SA pour observer des mouvements oculaires lents et 23 SA pour observer des mouvements rapides (de Vries, Visser, & Prechtl, 1982). Bien que l'œil se soit formé avant la naissance, le système visuel n'est pas complet au terme normal de la gestation. En effet, les mécanismes optiques sont partiellement fonctionnels : l'humeur vitrée[3] n'est pas tout à fait transparente troublant la vision ; le cristallin est rigide, faisant obstacle à l'accommodation ; la pupille ne se dilate que peu et lentement. Quant aux photorécepteurs de la rétine (bâtonnets et cônes), ils sont nettement différenciés mais leur répartition spatiale n'est pas totalement établie. Les voies optiques sont achevées à 25 SA mais elles ne sont pas encore totalement myélinisées, myélinisation qui progresse très rapidement de la naissance jusqu'à 4 mois où elle atteint les terminaisons corticales, avant de ralentir jusqu'à son achèvement vers la fin de la 2ème année (Bloch, Lequien, & Provasi, 2003). Le système visuel est donc inachevé dans son ensemble à la naissance. Malgré cette immaturité, le nouveau-né né à terme possède déjà un certain nombre de compétences et notamment celle d'habituation et de discrimination visuelle (Fantz, 1963; pour une revue, Mazens & Gentaz, 2006), capacités qui vont se développer et s'affiner rapidement grâce à l'expérience visuelle ex utero. L'enfant prématuré a un système visuel d'autant plus immature qu'il est né tôt mais il bénéficie aussi d'une expérience visuelle plus précoce. Néanmoins, sa position dans l'incubateur[4] va considérablement limiter les stimulations. La question est de savoir s'il peut tirer partie de ces stimulations visuelles et s'il pourra développer une activité perceptive comparable à celle du nouveau-né à terme.

[3] Substance transparente, gélatineuse qui remplit la cavité oculaire en arrière du cristallin.
[4] Les incubateurs ont été créés dans les années 1950 par les pédiatres pour permettre de contrôler la température, prévenir les risques d'infection et permettre l'accès aux ressources et équipements spécialisés.

Allen et Capute (1986) ont montré que les enfants prématurés sont réactifs (clignements des yeux) à un flash lumineux dès 25 SA. De plus, en exposant ces enfants une fois par semaine à ce flash de manière répétée, ils obtiennent une habituation, c'est-à-dire une diminution importante des clignements pour la majorité des enfants dès leur première semaine de vie. Bloch (1984) a pour sa part comparé les performances de poursuite visuelle de cible chez des prématurés âgés de 6 à 8 jours (nés entre 30 et 32 SA) et des enfants à terme âgés de 3 jours. Les résultats montrent que les enfants prématurés sont capables de suivre visuellement une cible mais qu'ils la perdent plus rapidement de vue et qu'ils éprouvent plus de difficultés à la retrouver que les enfants nés à terme. Les auteurs expliquent cette différence par un moindre développement de la rotation de la tête ainsi que du réflexe vestibulo-oculaire. Une autre étude s'est intéressée à la poursuite de cible chez les enfants prématurés, mais cette fois-ci de manière longitudinale (Dubowitz, Dubowitz, Morante, & Verghote, 1980). Les enfants sont testés deux fois par semaine, du plus tôt après leur naissance jusqu'à leur sortie de l'hôpital. Leur échantillon comprenait 47 enfants nés dès 28 SA jusqu'à 34 SA. Les résultats mettent en évidence une capacité de poursuite visuelle dès 31 SA, avec une majorité des enfants pouvant poursuivre une cible se déplaçant horizontalement ou verticalement. Leurs performances deviennent équivalentes à celles des enfants à terme vers 33-34 SA, indiquant un aspect expérientiel du développement des compétences visuelles. De plus, quel que soit leur âge gestationnel, les enfants prématurés à un même âge post-conceptionnel présentent des performances similaires, mettant ainsi en avant des compétences liées à la maturation du système de traitement visuel. Cette recherche indique donc que les aspects de maturation et d'expérience vont tous les deux influer sur les compétences visuelles du prématuré. Dans cette même étude, les auteurs ont également évalué chez les mêmes bébés leurs capacités de préférence visuelle face à différentes paires d'images issues de la technique de Fantz (1963). Ils ont observé que la majorité des bébés prématurés présentent des préférences visuelles dès 32 SA et que leurs réponses sont équivalentes à celles des bébés à terme vers 34-35 SA.

Très récemment, Kavsek et Bornstein (2010) ont réalisé une méta-analyse sur l'habituation / déshabituation visuelle chez les enfants prématurés. Cette méta-analyse souligne que d'une part, très peu d'études ont été faites chez les prématurés sans complication médicale particulière en période néonatale (c'est-à-dire de leur naissance à leur terme normal, 40 SA), et que d'autre part, ces dernières sont assez anciennes. Dans ces études, les enfants prématurés présentaient des performances d'habituation plus faibles, c'est-à-dire des temps plus longs pour s'habituer, comparées à celles des enfants nés à terme et testés à 3 jours de vie. Les stimuli utilisés étaient des damiers qui différaient selon leur

complexité (Kopp, Sigman, Parmelee, & Jeffrey, 1975; Sigman, Kopp, Littman, & Parmelee, 1977), ou différentes expressions de visages comme la joie, la tristesse et la surprise (Field et al., 1983). Dans les études utilisant les damiers, seule l'habituation était évaluée chez des enfants prématurés âgés de 40 SA (nés vers 33 SA). Dans l'étude de Field et ses collaborateurs (1983), ils ont aussi évalué les performances de discrimination chez 48 enfants prématurés de 36 SA (nés vers 35 SA) et 48 enfants nés à terme âgés de 2 jours. Les résultats montrent également que les enfants prématurés ont des performances plus faibles de discrimination que les enfants nés à terme. L'ensemble de ces études suggère que l'aspect de maturation semble prévaloir sur l'aspect d'expérience extra-utérine. De plus la prématurité semblerait même avoir créé un retard dans les performances d'habituation.

Plus récemment, une batterie de tests a été développée pour évaluer différents aspects de la vision, la réaction aux contrastes de couleurs, la discrimination de rayures noires et blanches de largeurs variées et l'attention à la distance (cible qui se déplace latéralement pour évaluer la distance latérale maximale que l'enfant peut atteindre). Cette batterie a été validée chez 50 enfants nés à terme dès 48 heures de vie (Ricci, Cesarini, Groppo et al., 2008). Les chercheurs ont voulu savoir si cette batterie de tests convenait aussi aux enfants prématurés. Une première étude a été faite chez 109 enfants prématurés âgés de 35 et de 40 SA (nés à 28 SA) sans complication médicale particulière (Ricci, Cesarini, Romeo et al., 2008) et leurs performances ont été comparées à celles des enfants à terme. L'évaluation de la maturité des réponses correspond à la comparaison du pourcentage d'enfants réussissant une épreuve dans chaque groupe d'âge post-conceptionnel. Les résultats montrent que les enfants prématurés dès 35 SA sont plus matures pour fixer et suivre une cible se mouvant verticalement ou en arc et qu'ils sont plus matures à 40 SA pour discriminer des rayures de largeurs variées que les enfants nés à terme. Par contre, la poursuite de cibles colorées, l'attention à la distance et la discrimination de rayures sont plus matures à l'âge du terme qu'à 35 SA. Les auteurs interprètent ces résultats en suggérant que l'expérience accélère certains aspects précoces de la vision relatifs à la stabilité oculaire et à la poursuite qui seraient contrôle sous-cortical (Dubowitz, Mushin, De Vries, & Arden, 1986) mais qu'elle ne semble pas affecter d'autres aspects de la vision qui serait plus sous contrôle cortical. Ces mêmes auteurs ont ensuite utilisé cette batterie de tests chez 64 enfants prématurés encore plus jeunes, âgés de 28 à 33 SA (nés vers 28 SA) (Ricci et al., 2010). Les réponses des enfants évoluent avec l'âge avec des performances similaires à 32-33 SA comparées à celles mesurées à 35 SA. Seule l'épreuve de suivi de cible se mouvant en arc présente une réponse plus immature qu'à 35 SA. De plus, les auteurs constatent que leur batterie de tests peut être utilisée chez les enfants prématurés dès 31 SA mais pas avant, à cause de l'instabilité de santé

de ces enfants. En conclusion, il est clair que les enfants prématurés présentent déjà un certain nombre de compétences visuelles, dont certaines vont être améliorées par l'expérience visuelle ex utero et d'autres retardées par la situation atypique de prématurité.

En résumé, ces résultats mettent en évidence l'influence de l'expérience ex utero sur les compétences sensorielles précoces des enfants prématurés. C'est pourquoi, nous allons maintenant nous intéresser à l'environnement de l'enfant prématuré, c'est-à-dire le service de néonatologie où les stimulations sensorielles sont particulières.

1.3. L'ENVIRONNEMENT DE L'ENFANT PREMATURE

Dans cette partie, nous allons décrire l'environnement atypique dans lequel se développe l'enfant prématuré, environnement qui peut être très lumineux et bruyant et où l'enfant est en permanence stimulé tactilement pour ses soins. Cet environnement s'avère être une source importante de stress. Le stress peut être assimilé à un ensemble de réactions physiologiques et psychologiques produites par un organisme soumis à un changement de situation difficile, voire paraissant impossible à gérer par cet individu. Ces modifications d'environnement vont engendrer une réponse de l'organisme afin de rétablir ses conditions de base de vie équilibrée (homéostasie). La finalité du stress est qu'en situation de danger, pour son intégrité, un organisme optimise son niveau de vigilance sensorielle et mobilise l'ensemble de ses ressources physiques (cardiovasculaires, respiratoires, musculaires) énergétiques afin de trouver la meilleure réponse à la mise en cause de son intégrité. Nous verrons que ce stress, indépendamment de tout autre problème médical (nous ne traiterons pas des enfants avec des problèmes médicaux graves dans cette partie), peut avoir un impact négatif sur le développement de l'enfant prématuré, à court et à long terme (pour une revue, Perlman, 2001).

1.3.1. Pourquoi une hospitalisation est-elle nécessaire ?

Un enfant prématuré est un enfant né trop tôt. De ce fait, il se caractérise par une immaturité physiologique, notamment pulmonaire, digestive et neurologique. L'enfant prématuré présente des problèmes pour réguler sa température corporelle et il est confronté

à des risques infectieux (immaturité du système immunitaire) et cardiovasculaires. Le bébé prématuré en service de néonatologie est un donc un petit être qui a besoin d'assistance respiratoire (lunettes à oxygène ou CPAP[5]), circulatoire (cathéters), nutritionnelle (sonde de gavage gastrique) et thermique (incubateur). Ces différentes aides sont nécessaires d'autant plus longtemps que l'enfant est né tôt. Son état de santé nécessite qu'il soit hospitalisé 24h / 24h, dès sa naissance, afin de recevoir des soins médicaux quotidiens.

1.3.2. Beaucoup de bruit…

Le service de néonatologie, lieu de vie des bébés prématurés, peut être un endroit bruyant. Les sources de stimulations sonores sont nombreuses et variées, telles que les bruits provenant des soignants et de l'entourage familial, mais aussi des appareils qui permettent la surveillance et la survie de l'enfant prématuré. En effet, de nombreux appareils sont susceptibles de sonner : le scope, lorsque l'enfant décroche une électrode en remuant, la saturation, pour peu qu'elle soit mal réglée ou que l'enfant ait déplacé le capteur en remuant les pieds, la perfusion, puis la seringue du système de gavage, lorsqu'elle n'est pas remplie ou arrêtée à temps. Pendant une journée (24h), la périodicité du niveau sonore est fonction de l'activité de l'équipe soignante, mais la variabilité sonore sur une courte période peut être considérable avec des pics d'intensité très élevés (Williams, van Drongelen, & Lasky, 2007). De plus, le bruit mesuré à l'intérieur des incubateurs semble être plus important qu'à l'extérieur. Cela s'explique par l'accumulation du bruit extérieur, de la ventilation, des équipements médicaux et du bruit produit par l'enfant ainsi que la structure des parois de l'incubateur en plexiglas qui crée de la réverbération (Johnson, 2001). Néanmoins, il faut prendre en compte le fait que les services de néonatologie, selon leur ancienneté, peuvent être très différents, notamment d'un point de vue architectural. Dans les services de conception récente, d'importants progrès ont été faits concernant l'environnement de l'enfant prématuré, en privilégiant par exemple la construction de chambres individuelles ou doubles à la place d'espaces ouverts. Dans ce cadre, la tranquillité de l'enfant est préservée et l'établissement du lien mère-enfant est favorisé. Williams, van Drongelen et Lasky (2007) ont mesuré les niveaux sonores dans deux services de néonatologie différents, un construit en 1989 et l'autre en 1999. Ils ont heureusement observé que le service le plus récent était le moins bruyant. De la même manière, Chen et ses collaborateurs (2009) ont montré que le niveau sonore mesuré dans les espaces clos (indépendants du lieu de travail de l'équipe

[5] CPAP (Continuous Positive Airway Pressure). L'utilisation d'une valve CPAP permet d'appliquer une certaine pression positive au niveau des voies aériennes, ce qui permet de diminuer le travail inspiratoire.

soignante[6]) était moins important que celui des espaces ouverts. Cette étude confirme l'importance de considérer les espaces plus calmes pour les enfants prématurés comme étant essentiel lors de la construction de nouveaux services de néonatologie. En effet, il s'avère que des sur-stimulations sonores peuvent avoir des effets néfastes sur le développement de l'enfant (Graven, 2000). Les niveaux sonores élevés peuvent avoir des conséquences physiologiques nuisibles, telles que des perturbations du sommeil, des réponses de stress ou même des pertes d'audition. L'AAP (American Academy of Pediatrics) recommande, dans les services de néonatologie, un niveau sonore qui ne doit pas dépasser 45 dB. De nombreuses études montrent que ce n'est cependant pas encore le cas (Chen et al., 2009). Rappelons que le seuil d'audition, c'est-à-dire le niveau sonore au-dessous duquel l'oreille d'une personne ne perçoit aucun son est de 40 dB chez le bébé prématuré de 28 à 34 SA, de 30 dB entre 35 et 38 SA et de 20 dB chez les enfants à terme (Lary, Briassoulis, de Vries, Dubowitz, & Dubowitz, 1985). C'est pourquoi le bruit doit être minimisé dans ces services en formant le personnel à être le plus discret possible, en contrôlant les niveaux sonores des alarmes et monitorings et en optimisant l'agencement des nouvelles constructions.

1.3.3. …et de lumière

Le service de néonatologie est aussi un endroit lumineux. La lumière peut être d'origine naturelle, la lumière du jour, ou / et d'origine artificielle, lampes et plafonniers. La luminosité peut varier en fonction de l'emplacement du lit du bébé, des conditions météorologiques, de l'agencement du service ou encore de la sévérité de l'état de santé du bébé. L'AAP recommande, dans les services de néonatologie, des équipements lumineux ajustables, avec une quantité de lumière pouvant varier entre 10 et 600 lux[7] (Hansen & Haumont, 2005). La lumière vive et constante ne respecte pas le cycle jour / nuit pourtant indispensable à l'établissement d'un rythme de tous les processus hormonaux et physiologiques du corps humain ainsi que pour l'organisation des temps de sommeil. Une étude faite chez des babouins prématurés montre que leur horloge biologique est réactive à la lumière dès 25 SA (Hao & Rivkees, 1999). Miller, White, Whitman, O'Callaghan et Maxwell (1995) ont mis en évidence l'importance du rythme circadien sur le bon développement de l'enfant prématuré. En effet, ils ont comparé une population de

[6] Lieu où les écrans de monitoring de chaque enfant sont rassemblés avec les alarmes correspondantes, où le téléphone sonne, où tous les dossiers sont stockés, où le personnel soignant se réunit et discute.
[7] Rue de nuit bien éclairée : 20-70 lux, appartement avec lumière artificielle : 100-200 lux, bureau ou atelier : 200-3000 lux, grand magasin : 500-700 lux

prématurés (N = 21) soumise à une lumière constante à une autre population de prématurés (N = 20) soumise à une rythmicité lumineuse jour/ nuit. Leurs résultats montrent que la population soumise à une rythmicité lumineuse a pris plus de poids, passé moins de temps sous assistance respiratoire, commencé à avoir une alimentation normale (par voie orale et non gavage) plus tôt, eu une consommation calorifique plus importante et passé moins de temps sous photothérapie[8]. De même, Robinson, Moseley, Thompson et Fielder (1989) ont mesuré la fréquence d'ouverture / fermeture des paupières d'enfants prématurés et ils ont montré que les enfants soumis à une alternance jour / nuit ouvrent les yeux significativement plus longtemps que ceux soumis à une lumière continue. Ces deux études ainsi que de nombreuses autres (pour une revue, Mirmiran & Ariagno, 2000) mettent en avant l'importance d'exposer les enfants prématurés à un cycle circadien afin d'optimiser leur développement. De la même manière que pour le bruit, dans les services de conception récente, la construction de chambres individuelles ou doubles, ou au moins d'espaces clos, est recommandée car elles vont favoriser la tranquillité du bébé et permettre au personnel soignant d'éteindre la lumière après leurs soins en respectant ainsi le rythme circadien des enfants prématurés. Pour les espaces ouverts, à défaut de pouvoir éteindre la lumière, le personnel doit mettre une couverture sur la couveuse. Il est aussi recommandé de diminuer l'intensité lumineuse et préférer la lumière indirecte lorsque cela est possible, bien que certaines procédures nécessitent une quantité de lumière de 1080 lux (Hansen & Haumont, 2005).

1.3.4. Les soins quotidiens

La journée du prématuré est organisée autour des soins liés à l'hospitalisation et nécessaires à sa survie et son bien-être. A son arrivée, il est piqué, perfusé, on lui pose un cathéter et une sonde de gavage. Des électrodes sont placées sur son thorax et reliées au scope qui alerte les soignants à la moindre variation anormale de ses fréquences cardiaque et / ou respiratoire. Durant la journée, les infirmières puéricultrices effectuent de nombreux soins. Les changes, les toilettes, l'alimentation, les changements de position font partie du quotidien des enfants prématurés. De plus, les médecins effectuent eux aussi des examens quotidiens pour s'assurer de l'état de santé du bébé. Enfin, des examens ponctuels comme les électroencéphalogrammes (EEG), ou les échographies transfontanellaires (ETF) sont autant de perturbations notables dans la vie du bébé prématuré. Dans les services de néonatologie,

[8] Le nouveau-né atteint de la jaunisse est exposé, nu en incubateur, à l'action des rayons d'une lampe "bleue" ou de néons (photothérapie), les yeux sont protégés des rayons par un bandeau.

l'enfant prématuré est ainsi soumis à de nombreux soins qui peuvent être à l'origine de sur-stimulation tactile, on parle même pour les bébés les plus fragiles d'allodynie : stimulation tactile habituellement non douloureuse qui va se révéler douloureuse (Fitzgerald, Millard, & McIntosh, 1989; Hellerud & Storm, 2002). Diverses procédures de soins quotidiens, associées à des manipulations non douloureuses de l'enfant, vont alors déclencher des réactions physiologiques de stress. Par exemple, l'évaluation neurocomportementale testant les réflexes de l'enfant et impliquant un repositionnant de l'enfant va induire une augmentation importante de l'hormone de stress, le cortisol (Gunnar, Isensee, & Fust, 1987). De la même manière, des procédures de routine telles que changer les draps ou prendre la température, vont déclencher des réactions de stress aussi bien physiologiques que comportementales, similaires à celles induites par des stimulations douloureuses (Holsti, Grunau, Oberlander, Whitfield, & Weinberg, 2005). L'enfant prématuré est aussi confronté à de nombreuses stimulations douloureuses qui vont modifier ses réponses comportementales tactiles ultérieures. En effet le déséquilibre stimulations tactiles non douloureuses / stimulations tactiles douloureuses peut entrainer à long terme des modifications neurodéveloppementales persistantes (Anand & Scalzo, 2000). Avant de songer à savoir comment bien stimuler tactilement l'enfant prématuré, il faut d'abord veiller à ne pas le sur-stimuler, ni le dystimuler (Berne-Audeoud, Marcus, Lejeune, Gentaz, & Debillon, 2010).

1.3.5. Conclusion : l'environnement, un facteur de stress

Pour un enfant, naître prématurément signifie changer d'environnement brutalement et de manière anticipée. L'enfant prématuré qui sort d'un milieu aquatique et protégé dans lequel les bruits sont assourdis, la lumière fortement atténuée et les stimulations tactiles douces et très limitées, peut ressentir son nouvel environnement comme une agression. L'environnement d'un service de néonatologie engendre un certain nombre de stimulations sonores, visuelles et tactiles répétitives et stéréotypées. Suite à ces diverses stimulations dont certaines sont déplaisantes voire douloureuses (notamment les multiples stimulations tactiles), ces enfants vont manifester des réactions de stress. Or, l'enfant prématuré est un être fragile qui possède un système d'autorégulation beaucoup plus désorganisé que l'enfant né à terme, système qui contribue normalement à donner une réponse adaptée à un évènement stressant (Als, Duffy, & McAnulty, 1988). Cette réponse désorganisée va induire une réponse inadaptée à un stress et des difficultés à retrouver après celui-ci un état calme. Ceci est d'autant plus vrai que la prématurité est importante (Lucas-Thompson et al., 2008).

De plus, des études ont montré qu'une exposition importante au stress et à la douleur dans les premiers mois de la vie pouvaient avoir des conséquences néfastes sur le développement futur de l'enfant (Anand & Scalzo, 2000). Les soins prodigués à l'enfant prématuré ont beaucoup évolué au cours des dix dernières années, le défi aujourd'hui, c'est surtout leur qualité de vie. Conscient de l'environnement peu ou mal adapté ainsi que de l'immaturité de ces enfants, les professionnels ont pour objectif aujourd'hui de réduire un certains nombre de nuisances pour optimiser leur développement.

1.4. DEVELOPPEMENT SENSORIEL ET COGNITIF A MOYEN ET LONG TERME DE L'ENFANT PREMATURE

Après avoir présenté un certain nombre de compétences précoces des enfants prématurés jusqu'à 40 SA ainsi que l'environnement dans lequel ils passent leurs premiers mois de vie, cette partie va s'intéresser à leur développement sensoriel et cognitif à moyen et long terme et se demander dans quelle mesure leur expérience extra-utérine précoce aurait pu influer sur leur développement. Nous allons en particulier développer les aspects du développement qui sont les plus abordés dans la littérature, à savoir le développement visuel, intellectuel, attentionnel et langagier ainsi que la perception de la douleur.

1.4.1. La vision

1.4.1.1. Vision du prématuré et pathologies associées

Des complications médicales sensorielles, notamment dans la modalité visuelle, sont retrouvées plus fréquemment dans une population d'enfants prématurés que dans une population d'enfants nés à terme. Les altérations visuelles peuvent être classées selon leurs origines, soit périphérique (par exemple la rétinopathie du prématuré, myopie, etc.), soit centrale (par exemple des lésions au niveau du cortex visuel). La rétinopathie du prématuré (ROP) est l'altération visuelle la plus fréquente (Dammann et al., 2009), 20 % des enfants prématurés en sont atteints (Mechoulam & Pierce, 2003). Cette maladie est caractérisée par un décollement progressif de la rétine périphérique et une prolifération anormale de tissu conjonctif derrière le cristallin. Les causes de cette maladie sont complexes, multifactorielles

et encore mal comprises. Le facteur de risque le plus important pour cette maladie est le faible âge gestationnel (Arpino et al., 2010). Dans la pratique hospitalière, il est impératif de surveiller régulièrement le fond d'œil et donc la rétine des enfants les plus immatures avant 30 SA, mais surtout avant 28 SA, population la plus à risque. Il est maintenant possible de stopper l'évolution de cette maladie en « collant » la rétine par coagulation par le froid ou par laser. Dans ces conditions, les cécités sont désormais exceptionnelles. La prévalence de la myopie, de l'hypermétropie ou encore de l'astigmatie est plus importante que dans la population générale (Hoyt, 2003). De même, le strabisme est retrouvé plus fréquemment dans la population de prématurés (Holmstrom, Rydberg, & Larsson, 2006). Quant aux altérations visuelles dues à des atteintes cérébrales, elles sont proportionnelles à l'étendue de la lésion et dépendent aussi de la localisation de celle-ci (Arpino et al., 2010). L'immaturité du système visuel de l'enfant prématuré le rend plus à risque, cela étant d'autant plus vrai qu'il est né tôt.

1.4.1.2. Compétences visuelles : en avance ou en retard ?

Qu'en est-il des compétences visuelles plus tardives des enfants prématurés ? Récemment, Atkinson et Braddick (2007) ont réalisé quatre études qui s'intéressent aux différents stades de développement des enfants prématurés. Celles-ci ont mis en avant une vulnérabilité au niveau du développement cérébral. Elles montrent des retards spécifiques à certains systèmes dont le domaine visuo-moteur, le domaine spatial ou encore le domaine attentionnel chez les très grands prématurés nés avant 32 SA. Ces retards persistent de la période préscolaire à la période scolaire (enfants testés au plus tard à 6-7 ans) et pourraient avoir des conséquences à plus long terme. Un des aspects de cette recherche a été d'étudier la capacité de détection d'un mouvement global cohérent. Les auteurs ont montré un retard important de développement de cette capacité, retard qu'ils expliquent par un dysfonctionnement de la voie dorsale du système visuel (voie notamment impliquée les domaines visuo-moteur, spatial, attentionnel, perception de mouvements, etc.). Dans le but de confirmer cette hypothèse, Taylor, Jakobson, Maurer et Lewis (2009) ont mesuré la sensibilité à des mouvements globaux, à des formes globales et à des mouvements biologiques, chez 23 enfants prématurés (nés avant 32 SA) et 20 enfants à terme, tous âgés de 7 ans en moyenne. Les résultats mettent en évidence des déficits de traitement des mouvements globaux et biologiques chez les enfants prématurés comparés aux enfants à terme. Des déficits sont aussi retrouvés pour le traitement de la forme globale mais dans une moindre mesure. Les auteurs viennent ainsi conforter l'hypothèse de vulnérabilité de la voie

dorsale du système visuel cortical chez les enfants très grands prématurés, système impliqué dans le traitement de la forme et du mouvement. Ce système se développerait à un rythme différent et pourrait donc être plus vulnérable à certaines lésions cérébrales ou à un développement cérébral atypique.

A l'inverse, d'autres études montrent une amélioration de certaines performances visuelles chez les enfants prématurés. Ainsi, Hunnius, Geuze, Zweens et Bos (2008) ont étudié si le développement visuel et attentionnel des enfants prématurés est accéléré par l'expérience visuelle ou si les processus précoces et plus tardifs sont affectés différemment. Les performances des enfants prématurés et des enfants nés à terme sur une tâche de déplacement de regard et d'attention ont été examinées pendant leurs six premiers mois de vie. Jusqu'à environ 16 semaines après terme, les enfants prématurés sont plus rapides à désengager et déplacer leur regard et leur attention d'un stimulus situé dans leur champ visuel central vers la périphérie alors qu'aucune différence n'est trouvée pour un simple déplacement de regard sans désengagement. Il semblerait donc que ce ne soit pas seulement les mécanismes précoces qui soient en avance grâce à l'expérience visuelle des prématurés, mais aussi des processus corticaux plus tardifs, qui ont longtemps été considérés comme préprogrammés. Ces résultats sont en accord avec un certain nombre de conclusions sur le développement visuel, moteur et langagier, qui ont aussi observé une accélération du fonctionnement cortical chez les enfants prématurés en bonne santé. Ainsi, certaines des aptitudes visuelles plus tardives des enfants prématurés vont être améliorées par l'expérience visuelle ex utero (i.e. désengager et déplacer le regard et l'attention d'un stimulus situé dans leur champ visuel central vers la périphérie) alors que d'autres (i.e. détecter un mouvement global) vont être retardées par la situation atypique de prématurité et les modifications cérébrales que cela engendre. En résumé, ces résultats mettent en évidence le rôle de l'environnement sur la maturation et le fonctionnement du système visuel, que les stimulations de l'environnement induisent un renforcement positif (accélération) ou négatif (retard).

1.4.1.3. La mémoire de reconnaissance visuelle

Les études sur les compétences précoces d'habituation / déshabituation visuelle ont montré des retards chez les enfants prématurés comparés aux enfants à terme, avec des temps de regard plus longs lors des deux phases chez les enfants prématurés. L'équipe de Susan A. Rose étudie depuis plus de 30 ans les conséquences de la prématurité sur la mémoire de reconnaissance visuelle plus tardive. Des différences de performances ont été

mises en évidence selon l'âge de l'enfant et le temps de présentation du stimulus en phase d'habituation (aussi appelée familiarisation). Les auteurs ont toujours travaillé en âge corrigé pour la prématurité. Une de leurs premières études a consisté à présenter un stimulus pendant une période de familiarisation de 30 secondes à 28 enfants prématurés (nés vers 32+6 SA) et 39 enfants nés à termes, tous âgés de 12 mois (Rose, Gottfried, & Bridger, 1978). Dans une seconde phase, deux stimuli leur étaient présentés, l'un était le stimulus familier et l'autre un nouveau. Les résultats montrent que tous les enfants ont une préférence pour le nouveau stimulus qu'ils soient prématurés ou nés à terme. Une seconde étude similaire a mesuré ces mêmes performances avec un temps de familiarisation plus court (20 secondes) chez des enfants âgés de 6 mois et de 12 mois, dont 36 enfants étaient prématurés (nés vers 33+3) et 36 enfants étaient nés à terme (Rose, Gottfried, & Bridger, 1979). A 6 mois, les résultats ne montrent aucune préférence pour le nouveau stimulus chez les enfants prématurés comparés aux enfants à terme du même âge. A 12 mois, les performances entre les deux groupes d'enfants sont similaires. Une troisième étude a confirmé les résultats obtenus chez les enfants de 6 mois, en faisant varier le temps de familiarisation à 5, 10 et 20 secondes (Rose, 1980). Les résultats ne révèlent aucune préférence pour le nouveau stimulus chez les enfants prématurés alors que les enfants à terme présentent une préférence quel que soit le temps de familiarisation. Enfin, une quatrième étude reprend la même méthodologie mais en faisant varier le temps de familiarisation (10, 15, 20 et 30 secondes) ainsi que l'âge des enfants (6 et 12 mois) (Rose, 1983). Cette étude confirme tous les résultats des précédentes recherches. Les enfants prématurés âgés de 6 mois ne présentent une préférence au nouveau stimulus que pour une durée de familiarisation de 30 secondes alors que les enfants à terme présentent une préférence au nouveau stimulus pour des durées de familiarisation de 15, 20 et 30 secondes. A 12 mois, les enfants prématurés préfèrent le nouveau stimulus pour des durées de familiarisation de 20 et 30 secondes alors que les enfants à terme présentent une préférence pour toutes les durées de familiarisation. Toutes ces études mettent en évidence un retard développemental de la mémoire de reconnaissance visuelle chez les enfants prématurés.

Cependant, d'autres auteurs n'ont pas mis en évidence ce type de retard. Bonin, Pomerleau et Malcuit (1998) ont suivi 34 enfants prématurés (nés vers 32 SA) et 36 enfants nés à terme à l'âge de 2, 4 et 6 mois. Ils ont utilisé deux types de tests. Tout d'abord, une procédure d'habituation / déshabituation est réalisée avec une phase d'habituation contrôlée par le bébé (les temps de regard de deux essais consécutifs doivent être égaux ou inférieurs à la moitié des temps de regard des deux premiers essais) pendant laquelle un seul stimulus à la fois est présenté dans chacune des phases. Ensuite, une procédure de familiarisation /

discrimination est également réalisée : pendant la phase de familiarisation deux stimuli identiques sont présentés 60 secondes à 2 mois, 30 secondes à 4 mois et 20 secondes à 6 mois et pendant la phase de discrimination les stimuli nouveau et familier sont présentés simultanément. Les résultats ne montrent aucune différence entre les deux groupes à chaque âge, tous les enfants vont préférer regarder le nouveau stimulus plus longtemps quelle que soit la procédure. Au vu de ces résultats, les auteurs concluent qu'il n'existe pas de retard entre les deux populations. Toutefois, en comparant les procédures, ces études ne se contredisent qu'en partie. En effet, les études de Susan A. Rose et ses collaborateurs (1979, 1980, 1983) ainsi que celle de Bonin, Pomerleau et Malcuit (1998) ne montrent qu'une seule différence chez les enfants prématurés de 6 mois. Bonin, Pomerleau et Malcuit (1998) montrent une préférence pour le nouveau stimulus pour une période de familiarisation de 20 secondes au contraire de Rose et ses collaborateurs (1979, 1980, 1983). Ces études montrent que les prématurés dès 2 mois d'âge corrigé possèdent déjà des compétences de mémoire de reconnaissance visuelle, mais que ces compétences sont modérées comparées à celles enfants nés à terme, selon le type de procédure utilisée. Néanmoins, il semble qu'il existe un retard développemental entre les enfants prématurés et les enfants nés à terme. D'autres études ont montré que des retards dans la mémoire de reconnaissance visuelle étaient corrélés avec des retards de quotient intellectuel chez les enfants prématurés (QI) (McCall & Carriger, 1993; Rose & Feldman, 1995).

1.4.2. Développement intellectuel et vulnérabilité cérébrale

Le développement intellectuel de l'enfant prématuré est souvent apprécié par des tests psychométriques appelés « tests d'intelligence », mesurant un Quotient Intellectuel (QI). Les déficits intellectuels (QI < 70) sont les plus communs chez les enfants prématurés avec une prévalence plus importante que les déficits moteurs, visuels ou auditifs. Le pourcentage de déficits intellectuels chez les enfants prématurés varie selon la taille de l'échantillon, les critères d'inclusion et l'âge gestationnel. Le développement intellectuel de 39 enfants prématurés (nés vers 32+4 SA) âgés de 4, 9 et 19 ans a été comparé à celui de 26 enfants nés à terme, au moyen de tests psychométriques (4 ans : échelle de développement mental de Griffith II ; 9 et 19 ans : matrices progressives de Raven colorées et standards; 19 ans : échelle d'intelligence de l'adulte de Wechsler ou WAIS) (Tideman, 2000). A 4 ans, les enfants prématurés sont dans la norme avec des performances légèrement inférieures à celles des enfants nés à terme. Ces différences disparaissent à 9 et 19 ans. Les auteurs concluent

que les prématurés sans handicap majeur se seraient donc développés normalement, bien qu'ils soient, dans cette étude, issus de niveaux socio-économiques inférieurs à ceux des enfants nés à terme. Des résultats opposés ont été apportés par Whitfield, Grunau et Holsti (1997) dans une étude portant sur 115 prématurés de très faible poids de naissance (< 800 g.) et 50 enfants nés à terme. Les QI recueillis à 9 ans (échelle d'intelligence de l'enfant de Wechsler révisée ou WISC-R) font état de différences globales au détriment des prématurés. Les différences sont notables en matière de mémoire visuelle à court terme, de coordination visuo-motrice, de décodage sémantique, de lecture et compréhension de textes écrits et d'arithmétique. Ces résultats ainsi que ceux issus de plusieurs études de cohorte indiquent que ces déficits sont inversement proportionnels à l'âge gestationnel ou au poids de naissance. Le Tableau 3 présente les résultats d'une revue faite par Arpino et ses collaborateurs (2010).

Reference	GA/BW	*n*	Exclusion criteria	IQ tests	Percent impaired (IQ<70)
Marret et al. [69] *EPIPAGE Study*	30–34 weeks/–	1461	–	MPC	5.3–10.7
Seitz et al. [75]	–/<1,250 g	74	CP	K-ABC	10–20
Farooqi et al. [76]	<26 weeks/–	86	–	Five to Fifteen (Parent report)	14
Marlow et al. [59] *EPICure Study*	≤25 weeks/–	241	–	K-ABC	21
Hintz et al. [77]	<25 weeks/–	366	–	BSID-II	40
		473			47
Hack et al. [78]	–/<1,000 g	219	Major malformations; Tuberous sclerosis, AIDS	K-ABC	15
Mikkola et al. [79] *Finnish ELBW Cohort Study*	–/<1,000 g	172	Severe disabilities	WPPSI-R	9
Larroque et al. [80] *EPIPAGE Study*	<33 weeks/–	1624	–	K-ABC	12
Vohr et al. [81] *Multicenter Cohort Study*	22–26 weeks/–	3785	–	BSID-II	37.2
	27–32 weeks/–				22.8
Shankaran et al. [82]	≤24/≤750 g	246	–	BSID-II	46
Anderson and Doyle [58] *Victorian Infant Collaborative Study*	<28 weeks/<1,000 g	258	Severe disabilities	WISC-III	5
Bohm et al. [83] *Stockholm Neonatal Project*	–/<1,500 g	143	Severe disabilities	WPPSI-R	<10

n number of sample size, *K-ABC* Kaufman Assessment Battery for Children, *MPC* Mental Processing Composite (Kaufman Assessment Battery for Children), *BSID*-II Bayley Scales of Infant Development-II, *WPPSI-R* Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised, *WISC*-III Wechsler Intelligence Scale for Children 3rd Edition

Tableau 3 ***Déficit intellectuel (QI < 70) stratifié selon l'âge gestationnel (GA) et le poids de naissance (BW). Revue issue de Arpino et al (2010)***

(Références de toutes les études citées: Anderson & Doyle, 2003; Bohm et al., 2002; Farooqi, Hagglof, Sedin, Gothefors, & Serenius, 2006; Hack et al., 2005; Hintz, Kendrick, Vohr, Poole, & Higgins, 2005; Larroque et al., 2008; Marlow, Wolke, Bracewell, & Samara, 2005; Marret et al., 2007; Mikkola et al., 2005; Seitz et al., 2006; Shankaran et al., 2004; Vohr, Wright, Poole, & McDonald, 2005)

Cette revue met en évidence que les déficits intellectuels iraient de 4 à 47 % selon les catégories d'âge gestationnel (de 22 à 34 SA) ou selon le poids de naissance (de 750 à 1500 g). Les différences de QI mesurées entre les enfants prématurés et à terme après ajustements

de possibles facteurs confondus tels que le bilinguisme, les mères adolescentes, le niveau d'éducation maternelle et le statut socio-économique (Stephens & Vohr, 2009) suggèrent que les facteurs environnementaux seraient impliqués dans les déficits intellectuels, mais que les perturbations du cerveau en développement sembleraient jouer un rôle clé. De manière générale, il semble que les enfants prématurés auraient davantage de difficultés à traiter plusieurs informations simultanées. Une étude a montré que les prématurés de très faible poids de naissance (< 1500 g.) ont, à 6 ans, des problèmes particuliers concernant l'intégration d'informations complexes nécessitant le raisonnement logique et les capacités d'orientation spatiale (Wolke & Meyer, 1999).

Reprenons plus en détail l'étude faite par le groupe EPIPAGE qui a beaucoup fait parler d'elle dans les médias lors de sa parution (Larroque et al., 2008). C'est une étude qui a évalué les déficits intellectuels, visuels, auditifs et moteurs chez 1817 enfants grands prématurés nés avant 33 SA et âgés de 5 ans et les a comparé à 664 enfants nés à terme. Les résultats montrent que 5 % des enfants prématurés sont atteints d'un handicap dit sévère (paralysie cérébrale non-ambulatoire, MPC[9] < 55 ou déficit visuel / auditif sévère) contre moins de 1 % des enfants nés à terme, 9 % d'un handicap modéré (paralysie cérébrale avec marche aidée ou 55 < MPC < 69) contre 3 %, et 25 % d'un handicap mineur (paralysie cérébrale avec marche autonome, 70 < MPC < 84 ou déficit visuel mineur) contre 8 %. La sévérité des handicaps est négativement corrélée à l'âge gestationnel (Allen, 2008; Larroque et al., 2008). Une méta-analyse, faite sur la période 1980-2001, vient renforcer ces conclusions et met en évidence que le faible poids de naissance a aussi une influence négative sur les déficits intellectuels. De plus, elle propose des explications physiologiques issues des modèles animaux (Bhutta, Cleves, Casey, Cradock, & Anand, 2002). L'influence de l'immaturité cérébrale, de l'instabilité physiologique, de la gravité de l'état de santé de l'enfant ainsi que de l'exposition à des expériences néfastes sont autant de facteurs prédictifs de troubles cognitifs. Les enfants prématurés sont d'autant plus à risque lors qu'ils sont atteints d'hémorragies intra-ventriculaires (HIV), d'infections, de complications métaboliques (i.e. hypoglycémie) ou de maladies respiratoires. De plus, les recherches sur les modèles animaux ont montré que les interventions douloureuses multiples et la séparation maternelle ont aussi un impact négatif. L'ensemble de ces facteurs accélère la mort cellulaire programmée (ou apoptose) au niveau cérébral. Ce phénomène aboutit à une diminution du volume cérébral dans certaines régions spécifiques, diminution déjà mise en évidence dans de nombreuses études faites en neuroimagerie, qui expliquerait au moins en partie la prévalence

[9] MPC: Mental Processing Composite. Il s'agit une des 4 échelles issue du « Kaufman Assessment Battery for Children » (K-ABC). Cette échelle mesure les performances des processus séquentiels et simultanés afin d'évaluer globalement le fonctionnement intellectuel.

des déficits neuro-cognitifs chez les enfants prématurés (Anderson, Laurent, Woodward, & Inder, 2006; Bhutta & Anand, 2001; Narberhaus et al., 2008; Peterson et al., 2003). Ces diminutions de volume cérébral chez les enfants prématurés se produiraient principalement au niveau de la substance blanche, même chez les enfants sans lésions cérébrales (Kontis et al., 2009; Mewes et al., 2006; Tzarouchi et al., 2009).

1.4.3. Attention, syndrome d'hyperactivité, langage et scolarisation

Au niveau neurocomportemental, les enfants prématurés ont plus de risque de développer des troubles déficitaires de l'attention avec hyperactivité (TDAH), mais aussi de l'anxiété, des dépressions ou des troubles autistiques (Arpino et al., 2010). Une étude longitudinale comparant des enfants prématurés et à terme a mis en évidence que les enfants prématurés manifestent davantage de difficultés d'apprentissage, de déficit de l'attention ou de troubles du langage, provoquant des difficultés à l'âge scolaire (Cherkes-Julkowski, 1998). Dans leur échantillon d'enfants prématurés, 75 % d'entre eux présentent au moins un de ces troubles. Les troubles attentionnels s'avèrent être les troubles neurocomportementaux retrouvés le plus fréquemment dans cette population (Aarnoudse-Moens, Weisglas-Kuperus, van Goudoever, & Oosterlaan, 2009). Une méta-analyse a montré que les enfants prématurés avaient 2,64 fois plus de risque de développer un TDAH comparés à une population d'enfants nés à terme (Bhutta & Anand, 2001). Ces troubles attentionnels sont le plus souvent étudiés chez les enfants prématurés de très faible poids de naissance, population la plus à risque ; ainsi dès l'âge de 5 ans, 16 % des enfants prématurés de très faible poids de naissance (< 1000 g.) présentent un TDAH contre 6,9 % des enfants nés à terme (Szatmari, Saigal, Rosenbaum, Campbell, & King, 1990). Une étude récente a comparé l'évaluation de troubles attentionnels faite par des parents et des professeurs d'enfants prématurés et à terme et celle faite à l'aide de tests standardisés (empan endroit numérique et spatial de la WISC III, attention visuelle de la NEPSY, Trail Making Test B et test de Stroop) chez des enfants prématurés et à terme âgés de 7 à 9 ans (Shum, Neulinger, O'Callaghan, & Mohay, 2008). Quel que soit le type d'évaluation, les résultats révèlent que les prématurés à l'âge de 7-9 ans présentent davantage de troubles attentionnels que les enfants nés à terme. Cette prévalence du TDAH a aussi été mise en évidence chez des enfants prématurés de très faible poids de naissance (< 1000 g.) âgés de 7-8 ans dans une seconde étude (Szatmari, Saigal, Rosenbaum, & Campbell, 2008). Celle-ci a évalué en parallèle le QI de ces enfants et les résultats suggèrent que la prématurité et le TDAH seraient associés à un QI plus faible. De

manière plus spécifique, une expérience s'est intéressée à la valeur prédictive de tâches qui sollicitent l'attention focalisée, plutôt que l'attention distribuée, sur les fonctions cognitives et attentionnelles (Lawson & Ruff, 2004). Les auteurs ont fait passer ces deux tâches à 55 enfants prématurés de très faible poids de naissance à l'âge de 7 mois, ces enfants ont ensuite été évalués au niveau cognitif et attentionnel à l'âge de 2, 3 et 4 ans. Les résultats montrent que les problèmes d'attention focalisée (et non distribuée) à l'âge de 7 mois sont bien prédictifs de déficits cognitifs dès l'âge de 2 ans et de TDAH dès l'âge de 4 ans. Ces troubles attentionnels semblent perdurer chez les adolescents et les jeunes adultes. Une prévalence des troubles pré-attentionnels et attentionnels a été retrouvée chez une population de prématurés âgés de 13 à 20 ans à l'aide d'enregistrements de potentiels auditifs, de la NIRS et de mesures de temps de réaction (Hall et al., 2008). Dans cette étude, il a également été mis en évidence que davantage de prématurés (21 %) sont atteints de TDAH comparés aux sujets contrôles (6 %). Cependant peu d'études se sont intéressées à la proportion de troubles déficitaires de l'attention avec et sans hyperactivité. Une récente méta-analyse, comparant des études faites de 1998 à 2008, a montré que les troubles attentionnels sans hyperactivité sont les plus communs chez les prématurés de faible poids de naissance (< 1500 g) (Aarnoudse-Moens, Weisglas-Kuperus, van Goudoever, & Oosterlaan, 2009). De plus, les troubles de l'attention révèlent de fortes corrélations positives (tous les $r > 0.51$) avec l'âge gestationnel et avec le poids de naissance.

Concernant le langage, les enfants prématurés atteignent certains stades plus tardivement que les enfants nés à terme. Une étude longitudinale a suivi 264 enfants grands prématurés (nés avant 30 SA) et 264 enfants nés à terme (Wolke & Meyer, 1999). Les résultats révèlent que les enfants grands prématurés montrent des scores de langage plus faibles que les enfants nés à terme au niveau de la compréhension, de l'expression, de l'articulation et des compétences de pré-lecteurs à l'âge de 6 ans. Cependant, lorsque les auteurs contrôlent le QI, les différences de langage disparaissent entre les deux populations, sauf pour les problèmes d'articulation qui seraient plus liés à des problèmes moteurs périphériques que centraux. Afin de tenter de comprendre à quoi peuvent être dus ces retards de langage, une étude en IRMf a été menée chez 54 enfants prématurés (nés vers 28 SA) et 24 enfants nés à terme. Ces groupes ont été tous deux soumis à des tâches de langage passif et à une évaluation neurodéveloppementale à l'âge de 7 à 9 ans (Gozzo et al., 2009). Les résultats montrent des retards dans toutes les tâches de langage ainsi que pour l'évaluation neurodéveloppementale chez les prématurés. Les résultats en neuroimagerie révèlent des connectivités neuronales plus importantes entre l'aire de Wernicke et le gyrus frontal inférieur droit (homologue de l'aire de Broca) ainsi qu'entre l'aire de Wernicke et les

gyri supramarginaux droit et gauche chez les enfants prématurés. Les prématurés présentent donc un réseau neuronal différent des enfants contrôles pour traiter l'information langagière au niveau auditif à l'âge scolaire. Ces altérations expliqueraient le délai de maturation des réseaux neuronaux ou de l'engagement de réseaux alternatifs dans les processus de langage. Ces retards d'acquisition du langage ont des répercussions sur les apprentissages scolaires de ces enfants. Ces problèmes scolaires sont d'autant pus importants chez les enfants de faible poids de naissance et de petit âge gestationnel. Des enfants âgés de 8 ans nés avant 28 SA et pesant moins de 1000 g. à la naissance manifestent des retards d'apprentissages scolaires aussi bien au niveau de la lecture que de l'arithmétique (Anderson & Doyle, 2003). Whitfield, Grunau et Holsti (1997) ont comparé les performances scolaires d'enfants très grands prématurés et nés à terme à l'âge de 9 ans. Les résultats montrent que les enfants prématurés ont 3 fois plus de troubles de l'apprentissage que les enfants nés à terme (47 % *vs.* 18 %). Cependant, ces troubles touchent aussi des enfants prématurés avec un âge gestationnel plus important. Des enfants nés entre 32 et 36 SA vont aussi avoir plus de troubles d'apprentissages scolaires en lecture et mathématiques à l'âge de 10-11 ans (Chyi, Lee, Hintz, Gould, & Sutcliffe, 2008). Toutefois, notons quand même que 61 % des enfants prématurés ne présentent pas de problèmes particuliers à l'école et que 80 % n'ont redoublé aucune classe (Anderson & Doyle, 2003).

1.4.4. Perception de la douleur

Il n'y a encore pas si longtemps, la douleur du nouveau-né à terme ou prématuré est restée ignorée ou contestée. McGraw (1943) avait expliqué que le tout-petit ne pouvait ressentir la douleur car il ne savait pas la localiser. A l'appui de cette affirmation, il expliquait que les seuils de douleur étaient très élevés, de manière à protéger le bébé pendant le passage des voies normales de l'accouchement. En application de cette hypothèse, la pratique de l'anesthésie au nouveau-né n'a pas été recommandée puisque jugée inutile (Bloch, Lequien, & Provasi, 2003). Maintenant qu'on sait que ce n'est pas le cas, de nombreuses études s'intéressent aux réactions des prématurés à des stimulations douloureuses afin de mettre en place une meilleure prise en charge pharmacologique et non-pharmacologique de cette douleur (Lago et al., 2009; Yamada et al., 2008). Les chercheurs ainsi que le corps médical utilisent des indices comportementaux et physiologiques pour évaluer les réponses des enfants suite à une stimulation douloureuse. Cela nécessite de déterminer quelles sont les réponses spécifiques à la douleur comparées à des réponses de stress qui peuvent se

manifester suite à une stimulation non douloureuse telle qu'un change. La fréquence cardiaque, les changements d'expression faciale et les changements d'état veille / sommeil semblent être les meilleurs indicateurs de la réponse à la douleur. Les procédures tactiles non douloureuses, telles que changer les draps de la couveuse, produisent de plus faibles réponses faciales et physiologiques mais des réponses plus importantes de mouvements des membres comparées à une procédure douloureuse (Holsti, Grunau, Oberlander, Whitfield, & Weinberg, 2005). Plus récemment, la technique d'imagerie en potentiels évoqués a mis en évidence un potentiel tardif (P560) spécifique à une stimulation douloureuse chez 12 enfants nés vers 36 SA et testés à une semaine de vie (Slater, Worley et al., 2010). Ce résultat fournit une première évidence de l'existence d'une réponse évoquée corticale spécifique à un stimulus douloureux. Cela suggère que les nouveau-nés sont capables de discriminer la douleur d'une autre stimulation sensorielle tactile. Les indicateurs physiologiques et comportementaux sont fréquemment utilisés pour évaluer la douleur chez les nouveau-nés. Cependant, il n'a pas été prouvé que ces mesures reflètent bien la douleur ressentie, celle-ci nécessitant un traitement au niveau cortical (Figure 2).

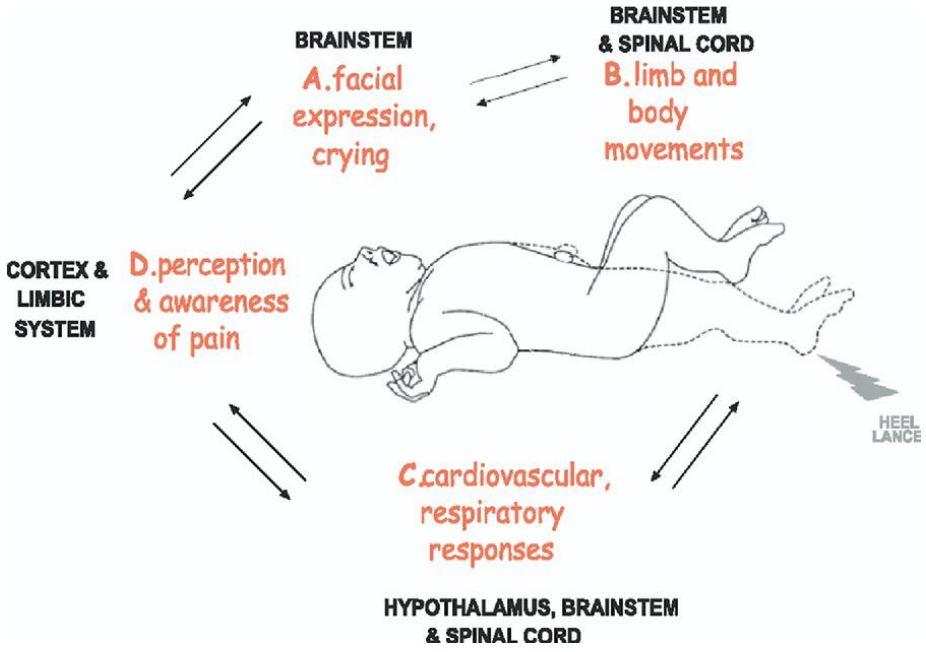

Figure 2 ***Réponses néonatales suite à une stimulation douloureuse. Une stimulation douloureuse, telle qu'une piqûre au talon, produit un certain nombre de réponses de la part de l'enfant, réponses qui sont mesurables et qui résultent de l'activation de réseaux neuronaux à différents niveaux du système nerveux. Les réponses individuelles peuvent être liées par le stimulus commun ou par des interconnexions. Cependant, la présence ou l'absence de A, B et / ou C ne prédit pas D. Figure issue de Slater, Fitzgerald et Meek (2007)***

De récentes études on utilisé la NIRS pour mesurer les réponses corticales à des stimuli nociceptifs. Slater, Fitzgerald et Meek (2007) ont mis en évidence que l'amplitude de

la réponse hémodynamique (enregistrée avec la NIRS) et les changements d'expressions faciales sont fortement corrélés, tandis que la corrélation est beaucoup plus faible avec les modifications physiologiques (fréquence cardiaque et saturation en oxygène). Attention, ce n'est pas parce qu'un enfant ne manifestera pas de changements d'expression faciale, qu'il n'existera pas un traitement cortical de cette douleur.

Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz et Anand (2006) ont montré qu'une douleur aigüe active le cortex somatosensoriel chez des enfants prématurés (nés entre 28 et 36 SA) testés à 2 jours de vie, cette activation étant associée à des changements métaboliques significatifs dans les aires corticales associées à la douleur. De plus, les prématurés de plus petits âges gestationnels et de plus grands âges post-nataux montrent des réponses corticales qui augmentent progressivement suite à une piqûre. Ces études démontrent clairement que l'information douloureuse est transmise au niveau du cortex chez le prématuré, elle aura donc une potentielle influence à un niveau plus élevé sur le développement du système nerveux central. Les nouveau-nés hospitalisés subissent en moyenne 10 à 14 procédures par jour et en moyenne 53 procédures différentes lors de leurs 15 premiers jours de vie (Simons et al., 2003). Une étude a évalué les effets de l'expérience en service de néonatologie sur les réponses de douleur chez des enfants prématurés testés entre 32 et 32+6 SA, la moitié venait de naître et l'autre avait 4 semaines de vie (nés vers 27+2 SA) (Johnston & Stevens, 1996). Les plus grands prématurés présentent une plus faible réponse comportementale, une plus faible saturation en oxygène et une fréquence cardiaque plus élevée suite à une prise de sang. Ainsi, les prématurés ayant passé le plus de temps en néonatologie semblent moins matures dans leurs réponses à la douleur comparés aux prématurés venant de naître. Une plus grande fréquence de procédures invasives est associée à une immaturité comportementale, tandis que l'âge gestationnel et le poids de naissance sont associés à une immaturité physiologique. L'immaturité des réponses à la douleur des prématurés, notamment des plus jeunes, s'explique par une plus grande difficulté à s'autoréguler. Une étude a évalué les différences d'autorégulation des réponses à la douleur (prélèvement sanguin) selon l'âge gestationnel, en observant les réponses comportementales et cardiovasculaires (Lucas-Thompson et al., 2008). Deux groupes d'âge gestationnel ont ainsi été composés : 21 prématurés de 28-31 SA et 28 prématurés de 32-34 SA ; deux évaluations ont été faites pour chaque groupe, une à 3-5 jours et l'autre à 3-5 semaines. Les deux groupes manifestent les deux types de réponses après leur prise de sang. Les prématurés nés le plus tôt sont physiologiquement plus réactifs lors des deux évaluations, notamment lors du retour à la normale après la stimulation, suggérant qu'ils sont plus vulnérables à la douleur car ils manqueraient de capacité d'autorégulation.

Une étude de neuroimagerie utilisant les potentiels évoqués ont confirmé ces résultats chez des enfants âgés de 40 SA, dont 7 enfants prématurés nés vers 30 SA et 8 enfants nés à terme et testés vers 4 jours de vie (Slater, Fabrizi et al., 2010). Ils observent qu'à âge post-conceptionnel équivalent, pour une stimulation douloureuse, les enfants prématurés présentent une amplitude plus large du potentiel tardif spécifique à la douleur (P560) comparés aux enfants nés à terme. Aucune différence n'est observée entre les deux populations pour une stimulation non douloureuse (toucher). L'expérience précoce associée à une naissance prématurée créerait donc une sensibilité plus importante à la douleur au moment où ces enfants atteignent leur terme. Cette expérience précoce à la douleur et les modifications de réponses que présentent les enfants prématurés suggèrent des changements d'organisation des connexions cérébrales, comme l'ont montré Kostovic et Jovanov-Milosevic (2006) chez des enfants âgés de 20 à 45 SA. La croissance des voies axonales chez les bébés prématurés expliquerait leur vulnérabilité et leur plasticité. Cela signifie que les sensations douloureuses ressenties au début de la vie auraient des effets à long terme dans la vie de l'individu. L'exposition précoce à des évènements douloureux répétés peut altérer le traitement de la douleur et sa perception (Anand & Scalzo, 2000). C'est pourquoi, Hermann, Hohmeister, Demirakca, Zohsel et Flor (2006) ont étudié deux populations d'enfants nés à terme et prématurés (nés avant 31 SA) ayant fait un séjour plus ou moins long en néonatologie (5 jours et 28 jours respectivement) et une population d'enfants nés à terme sans hospitalisation, tous âgés en moyenne de 11-12 ans. Les deux populations ayant fait un séjour en néonatologie présentent des seuils de douleur à la chaleur plus élevés mais une sensibilisation plus rapide. Le fait qu'il n'y ait pas de différence entre ces deux populations signifierait qu'il existe une période critique de 6 à 9 jours après la naissance. Ces résultats suggèrent que l'expérience de douleur à répétition, lors d'une période très proche de la naissance, induirait un changement dans le fonctionnement des voies de la douleur qui persisterait au-delà de l'enfance.

1.5. LES PROGRAMMES DE SOINS DE DEVELOPPEMENT

Comme nous l'avons vu précédemment, la vulnérabilité due à l'immaturité cérébrale de l'enfant prématuré et l'interruption du programme de maturation entraînent une désorganisation cérébrale précoce. Préoccupés en priorité par leur combat contre la mort, absorbés par l'apprentissage de la maîtrise de techniques de plus en plus sophistiquées et

efficaces, les spécialistes de néonatologie n'ont été que récemment attentifs aux caractéristiques de l'environnement de l'enfant prématuré fondamentalement préjudiciables à son développement. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les stimulations sensorielles influencent la structure et la fonction du système nerveux central ainsi que son comportement. Les enfants prématurés reçoivent des stimulations inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral. La question de la « réparation » des fonctions cérébrales est maintenant un des thèmes d'intérêt en néonatologie. C'est sur la plasticité cérébrale et la meilleure gestion des stimulations sensorielles que sont basés les espoirs liés aux programmes de soins de développement, par l'activation spécifique, adaptée et en temps utiles (plasticité bénéfique) des fonctions déficientes et par la réduction des expériences agressives (plasticité néfaste). L'objectif de ces programmes est double : ils ont une action préventive et thérapeutique. Les soins de développement représentent un concept de soins, une organisation de travail, une façon de prendre en charge le bébé et d'intégrer les parents dans les soins. Ils ont pour but de limiter le stress du bébé prématuré, d'améliorer son environnement et donc de contribuer à son bien-être et à son développement. Dans cette dernière partie, nous allons présenter trois programmes d'intervention, le premier étant plutôt un programme limitant les stimulations sensorielles : le NIDCAP (Neonatal Individualized Developmental Care and Assessment Program) et les deux autres étant plutôt basés sur un concept d'enrichissement sensoriel : la thérapie par le massage et la méthode « Kangourou ». Pour chacun de ces programmes d'intervention, nous allons tenter de voir quels sont leurs bienfaits et leurs limites.

1.5.1. Le NIDCAP (Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program)

Heidelise Als a élaboré, dans les années 80, un programme d'intervention nommé le programme néonatal individualisé d'évaluation et de soins de développement (Neonatal Individualized Developmental Care and Assessment Program, ou NIDCAP). Ce programme s'appuie sur la théorie synactive du développement néonatal, où le nouveau-né prématuré est considéré comme l'acteur principal de son propre développement et sa mère comme son corégulateur. Selon cette théorie, l'enfant est divisé en 5 sous-systèmes : végétatif (respiration, comportement viscéral, rythme cardiaque, etc.), moteur (posture, tonus, mouvement du corps), veille / sommeil (différents stades de sommeil et d'éveil), attention / interaction (capacité de l'enfant à répondre aux stimuli), autorégulation (capacité de l'enfant

à maintenir un équilibre entre tous les sous-systèmes en adoptant des comportements qui le mettent en confiance, qui le calment) (Westrup, Kleberg, & Stjernqvist, 2005). Ces sous-systèmes sont liés les uns aux autres et soumis à l'influence de l'environnement. Toute stimulation trop intense ou précoce va entraîner un déséquilibre dans ces sous-systèmes et une réaction de stress, de rejet : fonctionnement cardiaque instable, grimaces faciales, agitation, fuite du regard, hypertonie, trouble digestif, apnée, hoquet, écartement des orteils / doigts, etc. Toute stimulation adaptée aux compétences de l'enfant va être à l'origine d'un comportement d'approche, témoignant d'un bien-être : respiration calme, bonne succion, visage détendu, succès dans la consolation de soi, grasping, sourire, absence de régurgitations, transitions harmonieuses d'un stade à l'autre, etc. Or, le bébé prématuré baigné dans l'univers de la néonatalogie, reçoit principalement des stimulations dont la nature, la fréquence, l'intensité ou la quantité sont inadaptées à son niveau de développement, ce qui serait à l'origine de stress et / ou de douleur. Il s'agit ainsi d'observer le bébé afin de savoir s'il est fatigué, désorganisé ou s'il est détendu et prêt à interagir. Se basant sur ces informations, Heidelise Als et son équipe ont défini en 1986 aux Etats-Unis, un programme de soins précoces, individualisés, intégrés aux soins médicaux et infirmiers (Als et al., 1986). Le NIDCAP repose sur l'observation du comportement de l'enfant, avant, pendant et après les soins et intègre les parents comme acteurs essentiels de la relation avec l'enfant. Il n'y a pas de réponse type, chaque enfant est différent. L'observateur évalue la capacité de l'enfant à organiser et à moduler ses cinq sous-systèmes, note les signes de bien-être et d'autorégulation ainsi que les signes de stress. A la suite de ces observations, certaines recommandations sont formulées afin d'aider les soignants à soutenir de manière précoce, globale et individualisée, le développement de chaque enfant (gestion de l'environnement sonore et lumineux, respect du rythme veille-sommeil, succion non nutritive, agrippement, interaction parents-enfant favorisée lors des temps d'éveil, soins différés ou regroupés, etc.).

Les effets bénéfiques du NIDCAP ont été mis en évidence lors de la période néonatale mais aussi à l'âge de 3, 6 et 9 mois d'âge corrigé en comparant des groupes d'enfants prématurés avec ou sans intervention (Als et al., 1986; Als et al., 1994; Peters et al., 2009). Les résultats montrent que les enfants très grands prématurés qui bénéficient du NIDCAP passent moins de temps sous respirateur, sont alimentés moins longtemps par sonde de gavage, ont une meilleure prise de poids et sortent plus tôt de l'hôpital. De plus, l'incidence de pathologies telles que les hémorragies intra-ventriculaires, les pneumothorax, ou encore les dysplasies broncho-pulmonaires est plus faible. Enfin, une meilleure capacité d'autorégulation ainsi qu'une meilleure régulation des systèmes autonome et moteur sont

observées, avec de meilleurs scores aux évaluations mentale et psychomotrice. Mais qu'en est-il au-delà de 9 mois ? À 18 mois, les enfants prématurés « NIDCAP » présentent moins de troubles, notamment moins de retard mental (10 *vs.* 30 %) (Peters et al., 2009). À l'âge de 3 ans, des effets positifs sont observés sur le comportement de l'enfant et sur l'interaction mère-enfant (Kleberg, Westrup, & Stjernqvist, 2000). À l'âge de 5 ans, un impact positif (mais non significatif) est retrouvé au niveau moteur et cognitif (Westrup, Bohm, Lagercrantz, & Stjernqvist, 2004). À l'âge de 8 ans, des effets bénéfiques à long terme sont aussi mis en évidence chez d'anciens grands prématurés « NIDCAP », aussi bien au niveau neurophysiologique qu'au niveau neuropsychologique (McAnulty et al., 2010). Le NIDCAP semblerait donc améliorer le développement à court et long terme des enfants prématurés. À l'appui de ces recherches, une étude en IRMf révèle des changements bénéfiques dans la distribution des tissus ainsi que dans le développement microstructural de la matière blanche chez les enfants « NIDCAP » comparés à un groupe contrôle à l'âge du terme (Als et al., 2004). Ces résultats montrent que la qualité des expériences avant le terme va influencer significativement le développement cérébral. À l'inverse, d'autres recherches ne montrent aucun effet bénéfique NIDCAP, ni à court terme (Maguire, Walther, Sprij et al., 2009), ni à long terme (Ariagno et al., 1997; Maguire, Walther, van Zwieten et al., 2009). Une méta-analyse retrouve seulement des améliorations neurodéveloppementales à l'âge de 9 et 12 mois qui disparaissent à l'âge de 2 ans (Jacobs, Sokol, & Ohlsson, 2002).

Alors pourquoi ces différences de résultats ? Une revue récente a comparé les méthodologies utilisées pour évaluer les effets du NIDCAP (Wallin & Eriksson, 2009). Chaque étude tenue a été évaluée comme étant de qualité moyenne. En effet, chacune d'entre elles examine un très / trop grand nombre de variables ce qui diminuerait la puissance scientifique. Cependant, lorsqu'une différence significative est observée, elle est toujours en faveur du groupe avec NIDCAP et notamment pour le développement cognitif et psychomoteur ainsi que pour la diminution des besoins en oxygène. Malgré des résultats prometteurs, la preuve scientifique des effets bénéfiques du NIDCAP reste limitée. Les lacunes relevées dans la procédure expérimentale remettent en question les prétentions à évaluer l'efficacité du NIDCAP. Des efforts seraient donc à faire du point de vue de la méthodologie de l'évaluation des effets du NIDCAP. Les auteurs de la revue proposent de se concentrer sur un plus petit nombre de variables jugées les plus pertinentes lors d'études longitudinales de plus grande envergure.

1.5.2. Thérapie par le massage

La thérapie par le massage est fondée sur le rôle du contact lors du développement précoce et du développement de la relation parent-enfant. Bien que les enfants prématurés soient considérés comme fragiles, ce sont les massages sous forme de pressions qui sont habituellement utilisés. Généralement, les séances sont prodiguées 3 fois par jour pendant 7 à 10 jours. Les séances durent en moyenne 15 minutes et elles sont divisées en deux phases. La première dure 10 minutes et elle est composée de stimulations tactiles à l'enfant qui est couché sur le ventre, des pressions modérées sont alors effectuées sur sa tête et son visage, sur son cou et ses épaules, son dos, ses jambes et ses bras. Pendant, la seconde phase, le masseur effectue des flexions et des extensions des membres pendant que l'enfant est couché sur le dos (phase de stimulation kinesthésique). Les pressions modérées sont préférées aux pressions légères car ces dernières ne semblent pas apporter d'effets bénéfiques, excepté un effet de réconfort (Harrison, Williams, Berbaum, Stem, & Leeper, 2000). Au contraire, le massage sous forme de pressions modérées va entraîner des effets bénéfiques à court terme. Tout d'abord, deux revues trouvent des effets bénéfiques robustes chez les enfants prématurés ayant eu une thérapie par le massage (Field, Diego, & Hernandez-Reif, 2010; Vickers, Ohlsson, Lacy, & Horsley, 2004). Ces enfants ont une prise de poids significativement plus importante (entre 21 et 48 % selon l'étude) et ils restent en moyenne 3 à 6 jours de moins en service de néonatologie comparés à des enfants prématurés sans intervention. De plus, Vickers, Ohlsson, Lacy et Horsley (2004) notent également une diminution des complications post-natales chez ces enfants. Des effets bénéfiques sur le cycle circadien sont aussi mis en évidence : les enfants passent plus de temps en phase d'éveil et de sommeil actif et ils sont plus alertes aux stimulations (Field et al., 1986; Scafidi et al., 1986). En effet, ils présentent des comportements d'habituation, d'orientation et de motricité plus matures. Le massage permet aussi d'apaiser les enfants prématurés qui manifestent alors moins de comportements de stress (Harrison, Williams, Berbaum, Stem, & Leeper, 2000; Hernandez-Reif, Diego, & Field, 2007). Enfin, lors de procédures semi douloureuses comme enlever un scotch chirurgical, la thérapie par le massage diminue la réponse de douleur pendant et après l'acte douloureux (Diego, Field, & Hernandez-Reif, 2009). Les auteurs postulent que la stimulation des récepteurs de pression atténuerait la douleur et / ou aiderait l'enfant à se remettre plus rapidement d'un stimulus douloureux.

Aucune étude n'avait jusqu'à présent étudié si la thérapie par le massage affectait le développement cérébral. C'est maintenant chose faite, avec une étude qui a enregistré chez un groupe de 10 enfants prématurés contrôles et un groupe de 10 enfants prématurés avec

intervention, l'activité EEG ainsi que les potentiels évoqués visuels une semaine après la naissance (avant le début de l'intervention) et 4 semaines après la naissance (Guzzetta et al., 2009). Ils ont aussi fait un examen sérologique pour doser certains constituants, tels que le facteur de croissance IGF-1 impliqué dans le développement cérébral. Les auteurs postulent que l'enrichissement de l'environnement sensoriel, ici le massage, accélérerait le développement cérébral. Les résultats révèlent une maturation de l'activité EEG ainsi que de la fonction visuelle, en particulier une accélération de l'acuité visuelle. Les dosages en IGF-1 montrent aussi des taux plus élevés chez les enfants avec intervention. Le massage a bien une influence sur le développement cérébral et en particulier sur le développement visuel. Cependant, la maturation de la réponse EEG est retrouvée sur tout le scalp et pas seulement au niveau occipital, suggérant que l'effet bénéfique de la thérapie par le massage ne serait pas spécifique au développement visuel. De manière similaire, aucune étude ne s'était intéressée au développement à long terme des enfants prématurés ayant eu une thérapie par le massage en service de néonatologie. Une étude vient de paraître sur le développement de ces enfants à l'âge de 2 ans (Procianoy, Mendes, & Silveira, 2010). Les auteurs ont comparé un groupe de prématurés contrôles et un groupe de prématurés avec thérapie par le massage, tous nés à 30 SA en moyenne avec un poids de naissance allant de 750 à 1500 g. Tous les enfants ont aussi fait du « peau à peau » avec leur mère (cette technique sera détaillé dans la partie suivante sur la méthode « kangourou »), de plus les massages étaient prodigués par la mère et non par un professionnel. L'évaluation faite à l'âge de 2 ans montre de légèrement meilleurs résultats psychomoteurs et de meilleurs résultats de développement mental chez les enfants ayant eu des massages. Des stimulations organisées provenant de la mère, combinées avec du « peau à peau » pendant l'hospitalisation de l'enfant, amélioreraient leur devenir neurodéveloppemental. A la suite de ces résultats, les auteurs suggèrent que le développement serait encore meilleur si les interventions tactiles continuaient après l'hospitalisation.

1.5.3. La méthode « Kangourou »

Le « Kangaroo Mother Care » (KMC) est une méthode qui s'est initialement développée dans les pays pauvres pour faire face au manque de moyens financiers et au sous-équipement des hôpitaux. Elle fut développée en Colombie en 1978 par les docteur Rey et Martinez qui ont cherché à développer un procédé alternatif aux soins conventionnels donnés à des prématurés en service de néonatologie (Bloch, Lequien, & Provasi, 2003). Les

enfants prématurés qui ont atteint une stabilité physiologique, qui peuvent téter et déglutir seuls et qui n'ont plus besoin d'une assistance respiratoire peuvent bénéficier de ce programme. Le KMC possède 3 particularités. Tout d'abord, l'enfant prématuré doit être placé en peau à peau 24h / 24 avec sa mère, le père ou la grand-mère assure le relais pour des périodes transitoires. De plus, l'enfant est positionné verticalement sur le ventre de sa mère entre les 2 seins de façon à s'alimenter dès qu'il le désire, l'allaitement exclusif étant le second principe du KMC. Enfin, la sortie de l'hôpital doit être anticipée au maximum, en dépit de l'âge gestationnel et du poids de l'enfant. Cette méthode ainsi décrite est une méthode de KMC en continu, mais il existe aussi des programmes de KMC intermittents qui reprennent les mêmes principes mais sur des temps plus courts (Nyqvist et al., 2010). Cette méthode alternative est couramment appelée « soins Kangourou » ou « soins de peau à peau ». Quelle que soit la variante de la méthode KMC (continue ou intermittente), elle a pour but d'initier et maintenir la relation physique entre la mère et son enfant, ceci pour favoriser leur lien. Par conséquent, la mère prend un rôle essentiel en maintenant la température corporelle de l'enfant et en devenant la seule source d'alimentation et de stimulation.

Les effets bénéfiques du KMC ont été mis en évidence dès la période néonatale. Une première méta-analyse datant de 2003 révèle que les enfants prématurés ayant eu une intervention KMC (en continu), comparés à des enfants prématurés sans intervention, présentent des risques réduits d'infections nosocomiales, de maladie grave, de maladie pulmonaire spécifique, mais aussi une prise de poids plus importante (Conde-Agudelo, Diaz-Rossello, & Belizan, 2003) et une diminution de la durée d'hospitalisation (Charpak, Ruiz-Pelaez, Figueroa de, & Charpak, 2001). De plus, l'insatisfaction des mères face aux méthodes de soins prodigués à leur enfant est atténuée. Cependant, cette analyse ne montre aucune différence de mortalité infantile entre les 2 groupes. A l'inverse, une méta-analyse plus récente vient contredire cette dernière conclusion en mettant en évidence une baisse significative de la mortalité infantile chez les enfants (Lawn, Mwansa-Kambafwile, Horta, Barros, & Cousens, 2010). Les auteurs expliquent cette divergence par le fait que ces dernières années le KMC est utilisé de plus en plus tôt chez des enfants d'autant plus fragiles (mais cliniquement stables). C'est pourquoi leur analyse plus récente, révélerait l'impact de cette méthode KMC chez les enfants plus à risque. De plus, après une stimulation douloureuse comme la prise de sang, les enfants « KMC » présentent moins de réactions physiologiques et comportementales à la douleur. Le KMC s'avère être une bonne alternative d'intervention non pharmacologique pour soulager la douleur chez les enfants prématurés stables à partir de 30 SA (Castral, Warnock, Leite, Haas, & Scochi, 2008) et même dès 28 SA, même si chez ces enfants la diminution des réponses de douleur est

moindre (Johnston et al., 2008). Le KMC a aussi des effets bénéfiques avec des enfants qui sont plus alertes, qui présentent moins de regards de fuite (Feldman, Eidelman, Sirota, & Weller, 2002). Les mères manifestent plus d'affection envers leur enfant en lui portant plus d'attention et en le touchant plus souvent, elles apparaissent aussi moins dépressives. De plus, une autre étude montre que les enfants « KMC » ont un meilleur tonus vagal et une meilleure organisation des états veille / sommeil, avec de plus longues périodes de sommeil profond et d'éveil calme et des périodes plus courtes de sommeil agité (Feldman & Eidelman, 2003; Feldman, Weller, Sirota, & Eidelman, 2002). La méthode « kangourou » semble donc avoir un impact positif sur la maturation des systèmes autonome et circadien. Durant la période néonatale, chez les enfants « KMC », les paramètres physiologiques sont améliorés, la maturation neurocomportementale est renforcée et l'attachement parent-enfant est consolidé.

Peu d'études ont évalué les effets du KMC sur le développement à plus terme. Néanmoins des effets bénéfiques ont été mis en évidence à 3, 6 et 12 mois chez les enfants « KMC » comparés aux enfants prématurés n'ayant eu aucune intervention particulière. À 3 mois, ces enfants présentent des seuils plus élevés d'émotions négatives, une organisation plus efficace des états d'éveil, leurs parents semblent montrer une plus grande sensibilité avec un meilleur environnement familial (Feldman, Eidelman, Sirota, & Weller, 2002; Feldman, Weller, Sirota, & Eidelman, 2002). Ces mêmes études montrent qu'à 6 mois, les enfants « KMC » explorent plus attentivement leurs jouets lors d'une session de jeu, ils ont des périodes plus longues et des latences plus courtes d'attention partagée avec la mère et ils ont également de meilleurs scores mentaux et psychomoteurs. Enfin, à 12 mois, ces enfants présentent de meilleures capacités de planification des actions, de meilleures relations sociales et un développement mental plus important, notamment chez les enfants les plus à risque de leur échantillon, c'est-à-dire ceux dont le diagnostic neurodéveloppemental était réservé à l'âge de 6 mois (Tessier et al., 2003). La méthode « Kangourou » apparaît comme une méthode prometteuse car elle possède le potentiel permettant d'intégrer les conceptions d'autorégulation, de manipulation minimale, de stimulation tactile, d'enrichissement sensoriel dans le cadre du contact physique entre parent et enfant. Cette méthode a même donné lieu à une première conférence européenne en 2008. Suite à cette conférence, les experts proposent que la non-séparation de la mère et de son enfant soit intégrée dans tous les programmes de soins post-nataux (Nyqvist et al., 2010).

1.5.4. Conclusion

Quel que soit le programme d'intervention utilisé, aucun effet délétère n'a été décrit. Cependant, trop peu de recherches se sont intéressées au développement à long terme pour évaluer l'impact de ces interventions sur le développement tardif. Deux revues ont évalué les différents programmes d'intervention et leurs effets sur le développement (Blauw-Hospers & Hadders-Algra, 2005; Bonnier, 2008). Les auteurs ont conclu que le programme NIDCAP semblait mieux profiter aux enfants prématurés, programme qui vise en partie à mimer l'environnement intra-utérin. Le débat qui fait rage entre les différentes communautés est le suivant : soit l'enfant prématuré manque de stimulations, soit il est surchargé de stimulations sensorielles qu'il n'est pas capable d'assimiler correctement. Le fait est que les trois interventions décrites dans cette partie présentent des effets bénéfiques, le NIDCAP va plus dans le sens d'une limitation d'entrées sensorielles alors que la méthode « Kangourou » et la thérapie par le massage rajoutent des stimulations supplémentaires. En résumé, la maîtrise des stimulations sensorielles dans l'environnement de néonatologie qui constitue le premier lieu de vie de l'enfant prématuré, semble être cruciale sur son développement. Comme nous l'avons décrit précédemment, les sens se développent de manière séquentielle : d'abord le toucher, puis l'olfaction, le goût, l'audition et enfin la vision. Certains chercheurs suggèrent que cette mise en place séquentielle des différents sens doit être prise en compte dans les programmes d'intervention. Ainsi, des expériences sensorielles spécifiques devraient se produire au moment où le système perceptif spécifique est apte à traiter l'information reçue (Feldman, 2002; Korner, 1990). Ainsi, la première modalité sensorielle à se développer in utero, le système tactile, est supposée fournir une meilleure base pour le développement sensoriel suivant. Cela expliquerait les effets bénéfiques observés à la fois dans les méthodes de stimulations tactiles et dans la méthode de limitation des stimulations, notamment visuelles et auditives (sens les plus tardifs). Certains programmes utilisent aussi des stimulations multisensorielles, des auteurs ont comparé des enfants avec ce type d'intervention ou avec stimulation tactile seule et ils ont mis en évidence que la stimulation tactile seule engendre plus d'effets bénéfiques (Garcia & White-Traut, 1993). Ces résultats ainsi que ceux de la thérapie par le massage et la méthode « Kangourou », suggèrent qu'il existe des effets spécifiques de la stimulation tactile qui restent à éclaircir. La modalité tactile semble être une modalité clé chez les enfants prématurés, modalité sur laquelle on ne sait encore que peu de choses dans cette population.

Encadré 1 : résumé du chapitre 1

Selon les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, la naissance prématurée survient avant 37 semaines d'aménorrhée (SA) révolues (avant 8 mois de grossesse), définie par le 1er jour des dernières règles. Le nombre d'enfants grands prématurés qui survivent ne cessent d'augmenter grâce notamment aux progrès continuels des soins médicaux prodigués. En France, 44000 enfants naissent prématurément chaque année avant 37 SA ; c'est pourquoi la prématurité doit être considérée comme un véritable problème de santé publique.

Bien que les systèmes sensoriels de l'enfant prématuré soient encore plus inachevés que ceux du nouveau-né à terme, il possède déjà des compétences sensorielles précoces. Cependant, l'environnement atypique dans lequel se développe l'enfant prématuré, environnement très lumineux et bruyant où l'enfant est en permanence stimulé tactilement pour ses soins, s'avère être une source importante de stress. Le stress peut avoir un impact négatif à court et à long terme sur le développement de l'enfant prématuré déjà à risque. En effet, près de 40 % des grands prématurés présentent des séquelles à l'âge de 5 ans. Les troubles qu'ils soient moteurs, sensoriels ou cognitifs, sont sévères dans 5 % des cas et modérés pour 9 % des enfants qui ont été suivis (Larroque et al., 2008).

La vulnérabilité due à l'immaturité cérébrale de l'enfant prématuré et l'interruption du programme de maturation peuvent entraîner une désorganisation cérébrale précoce. Les enfants prématurés reçoivent des stimulations inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral qui vont influencer la structure et le fonctionnement du système nerveux central ainsi que leur comportement. C'est sur la plasticité cérébrale et la meilleure gestion des stimulations sensorielles que sont basés les espoirs liés aux programmes de soins de développement. Quel que soit le programme d'intervention utilisé (NIDCAP, thérapie par le massage, méthode « Kangourou »), des effets bénéfiques sont décrits. Les effets bénéfiques des programmes d'interventions précoces intégrant la modalité tactile comme une composante essentielle suggèrent qu'il existe des effets spécifiques de la stimulation tactile qui restent à éclaircir. Le toucher semble être une modalité clé chez les enfants prématurés, modalité sur laquelle on ne sait encore que peu de choses dans cette population.

Chapitre 2. TRAITEMENT TACTILE DES PROPRIETES DE L'OBJET

Dans ce second chapitre, nous allons nous intéresser à la modalité tactile en tentant de répondre à plusieurs questions. Comment est organisé le système tactilo-kinesthésique (ou haptique) au niveau anatomo-fonctionnel ? Comment sont catégorisées les propriétés des objets par le système tactile ? Quelles sont les procédures exploratoires mises en place par les adultes pour traiter et discriminer manuellement les différentes propriétés de l'objet ? Est-ce qu'il existe des différences de traitement cortical selon les propriétés des objets ? On s'interrogera ensuite sur le développement précoce de la perception manuelle des propriétés de l'objet sans contrôle visuel. Quelles sont les sensibilités tactiles mises en évidence chez le fœtus humain ? Le grasping n'est-il qu'un simple réflexe ? Quelles sont les compétences haptiques manuelles précoces déjà mises en évidence chez le nouveau-né à terme grâce à la méthode d'habituation / réaction à la nouveauté et / ou en mesurant la fréquence des pressions manuelles ? Pour répondre à cette question, nous nous intéresserons plus particulièrement aux études réalisées sur la propriété de forme utilisée pour ces travaux de thèse. Elle fera l'objet d'une description plus détaillée du traitement intra-main ainsi que du transfert inter-main. Enfin, nous relaterons les études portant sur la perception tactile des enfants prématurés. Quelles sont les compétences perceptives des enfants prématurés suite à une stimulation tactile passive ? Quels types de recherches ont déjà été menés sur le traitement haptique manuel des objets chez les enfants prématurés ? A la fin de ce chapitre, nous présenterons les objectifs et les hypothèses des études conduites dans le cadre de ce travail de thèse.

2.1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME HAPTIQUE CHEZ L'ADULTE

Le traitement des propriétés de l'objet, comme la forme qui nous intéressera plus particulièrement, met en interaction deux acteurs. Le premier est l'organe récepteur par lequel transite l'information. Le second est le stimulus qui contient un certain nombre de spécificités. Tout d'abord, nous aborderons les bases physiologiques du toucher à partir de la

morphologie et du fonctionnement des différents mécanorécepteurs. Ensuite, nous présenterons le second acteur de cette communication, à savoir le stimulus. Ce dernier peut être identifié, catégorisé, reconnu sur la seule base des propriétés qui le constituent. Nous présenterons rapidement les différences de traitement cortical selon les propriétés de l'objet. Enfin, nous verrons comment ces propriétés sont traitées manuellement par des procédures exploratoires qui diffèrent. Dans cette partie, nous parlerons seulement de l'adulte humain.

2.1.1. Bref rappel sur l'organisation anatomo-fonctionnelle du système somatosensoriel humain

Nous allons présenter l'organisation du système tactile humain et voir comment les messages sensoriels sont véhiculés des récepteurs périphériques au système nerveux central. Cette description va ainsi nous permettre de mieux comprendre la distinction entre le toucher passif et le toucher actif.

2.1.1.1. Les récepteurs sensoriels

La perception manuelle tactilo-kinesthésique ou haptique résulte de l'association de la perception purement cutanée, issue de la déformation mécanique de la couche superficielle de la peau stimulée et de la perception kinesthésique, issue de la déformation des muscles, des articulations et des tendons au cours des mouvements d'exploration de la main.

Chez l'homme, la perception manuelle cutanée implique quatre types de mécanorécepteurs situés dans la peau glabre et innervés par quatre classes de fibres nerveuses afférentes périphériques. Ces mécanorécepteurs ont été catégorisés selon leur sensibilité dynamique, leur vitesse d'adaptation à un stimulus et la taille de leur champ récepteur (Johnson & Hsiao, 1992) (Figure 3). Les récepteurs impliqués dans le toucher épicritique (fin, discriminatif) sont les corpuscules de Meissner et les récepteurs de Merkel. Ce sont des récepteurs superficiels, les premiers sont innervés par des fibres à adaptation rapide de type I et les seconds par des fibres à adaptation lente de type I. Ils ont des champs récepteurs réduits et délimités et leur concentration est beaucoup plus dense sur les phalanges distales des doigts. Les récepteurs de Merkel étant sensibles à l'intensité et la durée de la stimulation, ils coderaient les caractéristiques spatiales des stimuli telles que les contours et la forme. Les récepteurs de Meissner étant des détecteurs de vitesse, ils coderaient les mouvements sur la surface de la peau. Les récepteurs impliqués dans le

toucher protopathique (grossier, non discriminatif) sont les corpuscules de Pacini et de Ruffini. Ce sont des récepteurs profonds qui ont des champs récepteurs larges et flous. Les premiers sont innervés par des fibres à adaptation rapide de type II et les seconds par des fibres à adaptation lente de type II. Les récepteurs de Pacini sont particulièrement sensibles aux vibrations et seraient impliqués dans le codage des indices temporels du stimulus alors que les récepteurs de Ruffini sont sensibles à l'étirement de la peau (Gentaz, 2000). Lors d'une perception manuelle cutanée seule, les capacités de discrimination restent limitées dans la mesure où aucun mouvement d'exploration n'est produit.

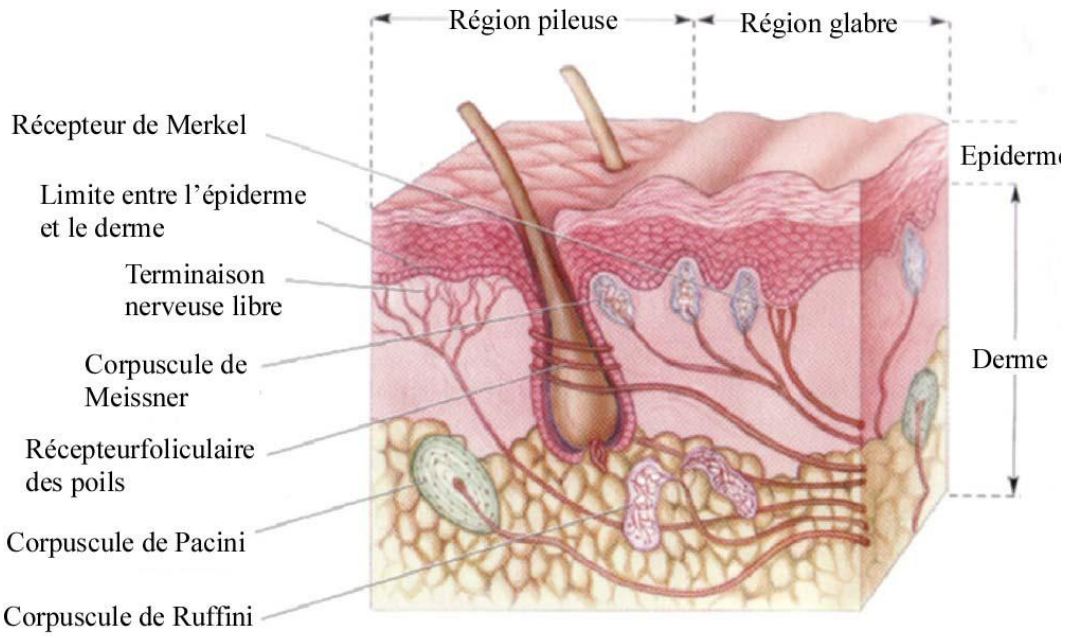

Figure 3 ***Les récepteurs sensoriels de la peau. Figure issue de Bear, Connors et Paradiso (2002)***

La perception kinesthésique résulte de mouvements qui provoquent la déformation des récepteurs proprioceptifs. Les récepteurs proprioceptifs se situent au niveau des muscles (les fuseaux neuromusculaires), des tendons (les organes tendineux de Golgi) et des articulations (les récepteurs de Ruffini et de Pacini). Les récepteurs musculaires fournissent essentiellement des informations sur la longueur du muscle ou sur la vitesse de ce changement de longueur. Les récepteurs tendineux donnent des informations sur le niveau de tension du muscle et ses variations dans le temps. Les mécanorécepteurs des articulations renseignent sur les positions et les mouvements des membres (Gentaz, 2000).

Ainsi, lors d'un mouvement actif du sujet sur un objet, il présente une perception haptique (ou toucher actif). Lors d'une perception haptique, les informations issues des récepteurs cutanés viennent s'ajouter aux informations issues des récepteurs proprioceptifs.

2.1.1.2. Les voies de projections somesthésiques

Les informations cutanées et proprioceptives sont ensuite transmises vers le système nerveux central par deux voies ascendantes majeures, spécifiques de la modalité somatique qu'elles véhiculent. Ainsi, les informations relatives au toucher épicritique et à la proprioception sont véhiculées de la moelle épinière au cerveau par la voie dite des colonnes dorsales et du lemnisque médian. Les informations relatives au toucher protopathique ainsi qu'à la sensibilité thermique et nociceptive sont véhiculées de la moelle épinière au cerveau par la voie spinothalamique dite aussi antérolatérale ou extralemniscale. Ces deux voies se séparent dès leur entrée dans la moelle épinière.

La première véhicule plus rapidement des informations précises impliquées dans la perception fine et la sensibilité proprioceptive. Ainsi, dans la voie des colonnes dorsales et du lemnisque médian, les informations relatives au toucher épicritique et à la position des membres sont transmises via les fibres afférentes du ganglion de la racine dorsale où se situent les neurones sensoriels de 1er ordre. Les fibres projettent ensuite le long de la colonne dorsale de la moelle épinière et font synapse avec les neurones des noyaux des colonnes dorsales dans la partie caudale du bulbe où se situent les neurones sensoriels de 2ème ordre. Les axones issus des noyaux des colonnes dorsales prennent ensuite la direction de la partie ventrale et médiane du bulbe puis décussent[10]. Ces axones se regroupent au niveau d'un faisceau de fibres très dense : le lemnisque médian. Celui-ci traverse le bulbe, le pont et le mésencéphale pour se terminer dans le noyau ventro-postéro-latéral (VPL) du thalamus au niveau des neurones sensoriels de 3ème ordre. Les neurones du VPL envoient des projections vers les cortex somatosensoriels primaire et secondaire. Il existe également des projections sur le cortex moteur permettant les sensations de positions et de mouvements des segments corporels, en dehors de tout contrôle visuel.

La seconde voie est relative à des informations très variées et véhiculées plus lentement. La transmission des informations relatives au toucher protopathique mais également relatives à la douleur et à la température est assurée par la voie spinothalamique ou extralemniscale. Dans cette voie, les axones des racines dorsales (neurones de 1er ordre) font synapse au niveau de la corne dorsale au niveau de la moelle épinière. Les axones des neurones de 2ème ordre décussent alors au niveau de la moelle, empruntent le faisceau spinothalamique qui se situe au niveau de la région ventrale de la moelle épinière et atteignent le thalamus (noyaux intra-laminaires et VPL) en traversant le bulbe, le pont et le

[10] Les fibres nerveuses se croisent au niveau de la ligne médiane pour passer du côté contralatéral.

mésencéphale sans y faire relais. Les axones de 3ème ordre venant du thalamus projettent ensuite sur les cortex somesthésiques primaire et secondaire (Gentaz, 2000).

2.1.1.3. Le cortex somatosensoriel

Le cortex somatosensoriel, localisé dans la partie antérieure du lobe pariétal, reçoit toutes les informations somesthésiques. Il est divisé en deux parties : le cortex somatosensoriel primaire (SI) qui se situe dans le gyrus postcentral et le cortex somatosensoriel secondaire (SII) qui s'étend latéralement par rapport à SI dans l'opercule pariétal et le cortex pariétal postérieur juste en arrière de SI (Figure 4).

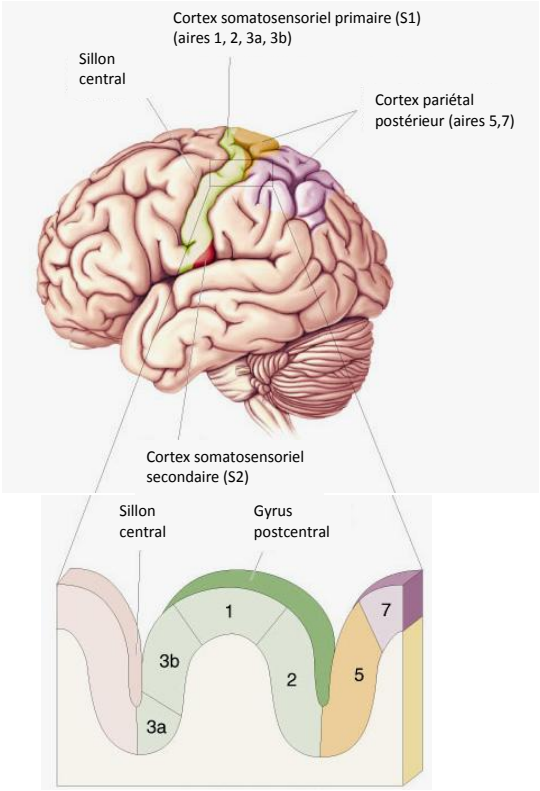

Figure 4 ***Le cortex somatosensoriel : ensemble des aires somatosensorielles situeés dans le lobe pariétal et découpage du cortex somesthésique primaire en 4 aires de Brodmann. Figure issue de Bear, Connors et Paradiso (2002)***

Le cortex somatosensoriel primaire regroupe les aires de Brodmann 1, 2, 3a et 3b qui ont des spécialisations différentes. Chez le primate, des études neurophysiologiques ont mis en évidence que l'aire 3a contient principalement des neurones activés par la stimulation des récepteurs musculaires, les aires 3b et 1 reçoivent essentiellement des afférences cutanées et sont principalement activées par des stimulations cutanées légères. Enfin, les neurones de

l'aire 2 sont activés par des stimulations cutanées profondes et proprioceptives articulaires (Iwamura, Tanaka, Sakamoto, & Hikosaka, 1993; Kaas, 1993).

Mais la perception haptique n'est pas du simple fait du cortex somatosensoriel. Le cortex somatosensoriel est fortement interconnecté avec d'autres structures ou aires cérébrales (Figure 5). Ces connexions lient le système sensoriel et le système moteur pour former le système sensori-moteur. Ainsi la perception haptique met en jeu de nombreuses aires cérébrales comme l'aire motrice primaire, les aires prémotrices et pariétales postérieures, le cortex préfrontal et le système limbique.

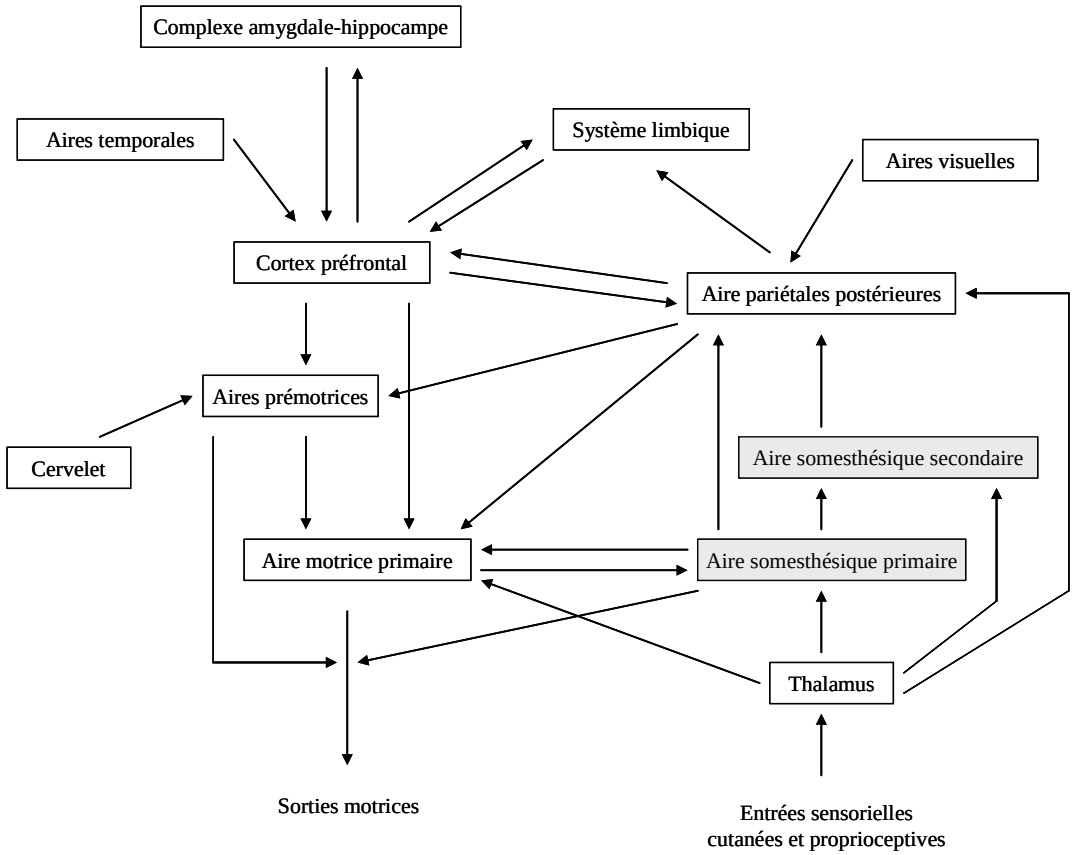

Figure 5 ***Schéma simplifié illustrant les principales connexions entre les différentes structures cérébrales impliquées dans la perception haptique. Figure adaptée de Gentaz (2003)***

2.1.1.4. Communication inter-hémisphérique

La communication inter-hémisphérique est importante pour une intégration cohérente des informations (Doron & Gazzaniga, 2008). Les deux hémisphères cérébraux sont reliés entre eux grâce à quatre commissures inter-hémisphériques : le corps calleux, le fornix, la commissure antérieure et la commissure postérieure. La perception haptique doit donc être considérée à un niveau intra mais aussi inter-hémisphérique, où le corps calleux est

impliqué dans le transfert d'informations tactiles. Le corps calleux est une commissure télencéphalique transversale (faisceau d'axones) interconnectant les deux hémisphères cérébraux. La fonction principale du corps calleux est de relier les aires corticales homologues entre elles et ainsi permettre l'intégration inter-hémisphérique et le transfert d'informations (Bloom & Hynd, 2005; pour une revue, Gazzaniga, 2000). C'est la plus importante commissure du cerveau car elle relie les quatre lobes du cerveau entre eux (lobes frontaux, temporaux, pariétaux et occipitaux gauches et droits) selon une organisation topographique. Les fibres antérieures qui relient les lobes frontaux sont impliquées dans le transfert des informations motrices, tandis que les fibres postérieures qui relient les lobes temporaux, pariétaux et occipitaux sont impliquées dans l'intégration des informations somatosensorielles, auditives et visuelles (Fabri et al., 2005).

Après avoir présenté le premier acteur du traitement des propriétés de l'objet, à savoir l'organe récepteur par lequel transite l'information, nous allons nous intéresser au second acteur qui est le stimulus. Quelles sont ses spécificités ?

2.1.2. La perception haptique des objets chez l'adulte

Dans cette partie, nous allons décrire la classification des différentes propriétés d'objets. Nous présenterons ensuite les similitudes et les différences de traitement haptique manuel selon la propriété traitée. Les différences de traitement de l'objet seront d'abord mises en évidence à l'appui de données en neuroimagerie, puis avec la présentation de procédures exploratoires spécifiques observées lors de l'exploration manuelle d'un objet chez l'adulte humain.

2.1.2.1. Les deux dimensions des objets

Tout objet manipulé tactilement peut être reconnu, mais également classé sur la base des différentes caractéristiques élémentaires qui le constituent. Lederman et Klatzky (1993) utilisent le concept de propriété pour exprimer l'idée d'un regroupement des valeurs représentatives d'une propriété spécifique. Le fait de définir un objet comme rond, carré ou triangle, correspond à l'attribution de valeurs représentatives ; elles sont groupées dans des classes plus vastes que l'on nomme propriétés (ex : la forme). Chaque propriété contient donc un certain nombre de valeurs de propriétés et ces propriétés sont elles-mêmes regroupées

sous le concept plus général de dimension. Lederman et Klatzky (1987) proposent deux familles de dimensions : la dimension matérielle et la dimension géométrique.

❖ La dimension matérielle

La dimension matérielle regroupe des propriétés qui ont la particularité de faire varier la réponse d'un matériau en maintenant constant, sur le stimulus, des facteurs d'ordre géométrique (la forme ou la taille). Pour rendre plus explicite cette définition, prenons l'exemple de la propriété de texture. La densité plus ou moins importante des micro-éléments constitutifs d'une texture détermine le degré de rugosité de l'objet. L'échelle de rugosité détermine des indices, ou valeurs, relatifs à la propriété matérielle de texture. Dans le cas de la température, autre propriété matérielle, les fluctuations possibles de la conduction thermique correspondent à l'échelle de mesure des valeurs de la température. Cette propriété peut varier tout en conservant d'autres propriétés constantes, telle que la forme ou la taille. La substance est une autre propriété matérielle de l'objet. La spécificité des dimensions matérielles est donc de garder constante les dimensions géométriques lorsqu'une variation intervient sur l'objet. La définition d'une dimension matérielle se fonde sur l'organisation de la microgéométrie de l'objet. Pour reprendre la définition de Roland et Mortensen (1987), la microgéométrie est une petite déviation de la géométrie de la surface présente sous forme de rainure ou autre géométrie, mais qui n'altère pas la forme de l'objet. Si nous analysons la dimension matérielle en relation avec la microgéométrie de l'objet, cela suppose en parallèle l'existence d'une macrogéométrie.

❖ La dimension géométrique

Pour introduire cette dimension, nous prendrons également la définition de Roland et Mortensen (1987) : « *les propriétés macrogéométriques de l'objet sont la taille et la forme* ». Les propriétés géométriques se rapportent à la structure de l'objet et ses caractéristiques spatiales. La forme et la taille sont les deux propriétés les plus représentatives de la dimension géométrique. Contrairement à la dimension matérielle, la dimension géométrique sollicite une analyse plus globale de l'objet, avec des variations sur la géométrie de l'objet, lorsque les valeurs matérielles restent constantes (Klatzky, Lederman, & Reed, 1987). Il est alors légitime de se demander si ces deux dimensions des propriétés de l'objet possèdent des spécificités au niveau du traitement cérébral.

2.1.2.2. Traitement cérébral des propriétés de l'objet

O'Sullivan, Roland et Kawashima (1994) ont utilisé la tomographie par émission de positons[11] (TEP) lors d'une tâche de discrimination de texture (microgéometrie), ou lors d'une tâche de discrimination de longueur (macrogéometrie). Les deux tâches activent des régions qui recouvrent le sillon postcentral antérieur et postérieur. Cependant, lors de la discrimination de longueur, l'activation du sillon postcentral postérieur est plus importante. De plus, une activation spécifique à la discrimination de taille est retrouvée dans la partie antérieure. La discrimination de longueur active aussi des champs bilatéralement dans le gyrus supramarginal ainsi que dans le gyrus angulaire. Ainsi, la discrimination de rugosité utilise un sous-ensemble de régions corticales également nécessaires à la récupération des informations de longueur, lesquelles nécessitent un traitement somatosensoriel plus important. Les auteurs expliquent en partie ces résultats par le fait que la perception de longueur nécessite à la fois une détection des contours du stimulus ainsi que des informations sur la surface et la vitesse, ce qui n'est pas nécessaire pour la perception de rugosité. Les mêmes auteurs ont montré que, lors de tâches de discrimination de la rugosité (microgéometrie), de la forme et de la longueur (macrogéometrie), la rugosité activait plus fortement le cortex operculaire pariétal latéral alors que la longueur et la forme activaient plus fortement la partie antérieure du sillon intrapariétal (Roland, O'Sullivan, & Kawashima, 1998). Il existerait donc différents traitements corticaux pour les propriétés micro et macrogéométriques de l'objet. Une autre étude utilisant l'IRMf, ne retrouve pas de différence d'activation entre les propriétés de texture et de forme mais une activation différente pour la propriété de dureté lors d'une tâche de classification (Servos, Lederman, Wilson, & Gati, 2001). Les résultats indiquent que les 3 propriétés activent le gyrus postcentral. Cependant, lors du jugement de dureté, on retrouve une activation plus antérieure du gyrus postcentral ainsi qu'une activation bilatérale de l'opercule pariétale. Une activation plus postérieure du gyrus postcentral est observée pour les propriétés de forme et texture. Dans cette étude, les traitements haptiques de la forme et de la texture ne sont pas dissociés.

Des activations au niveau des aires du cortex occipital visuel ont aussi été mises en évidence en IRMf, lors d'une tâche de discrimination de texture ou de forme (Peltier et al., 2007; Stilla & Sathian, 2008). Des régions spécifiques lors du traitement haptique de la forme (en contraste avec la texture) sont plus fortement activées : activation bilatérale du gyrus

[11] Tomographie par émission de positons (TEP): méthode d'imagerie médicale qui permet de mesurer en trois dimensions l'activité métabolique d'un organe grâce aux émissions produites par les positons (ou positrons) issus de la désintégration d'un produit radioactif injecté au préalable. Elle permet de révéler les régions actives du cerveau lors de telle ou telle activité cognitive de manière analogue à ce qui se fait avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.

postcentral, du sillon intrapariétal et du complexe latéral occipital. Les deux dernières aires sont aussi activées lors d'une tâche de discrimination de formes dans la modalité visuelle. Enfin, des études utilisant la stimulation magnétique transcranienne[12] (TMS) viennent renforcer ces résultats (Merabet et al., 2004). En interrompant momentanément les aires corticales visuelles, les auteurs observent une altération de la discrimination tactile de distance (macrogéométrie) mais pas de texture (microgéométrie). Mais lors d'une interruption momentanée du cortex somatosensoriel, il se produit l'effet inverse. Des résultats identiques ont été mis en évidence avec l'orientation de l'objet comme propriété macrogéométrique (Zangaladze, Epstein, Grafton, & Sathian, 1999). L'ensemble de ces résultats suggère que les propriétés macrogéométriques seraient traitées différemment des propriétés microgéométriques lors de tâches haptiques. Les propriétés macrogéométriques nécessiteraient un traitement plus élaboré faisant intervenir des aires visuelles. Ainsi, le toucher serait moins spécialisé dans la perception des propriétés géométriques, domaine d'excellence de la vision, que dans la perception des propriétés matérielles (Hatwell, 1994; Lederman & Klatzky, 1997). Des différences existent-elles aussi au niveau comportemental selon les différentes propriétés de l'objet ?

2.1.2.3. Les six procédures exploratoires

L'ensemble des propriétés de l'objet est généralement perçu au travers d'un processus actif. En effet, contrairement à la vision et l'audition, le toucher est une modalité de contact. Même si les récepteurs cutanés sont répartis sur tout le corps, dans la perception tactile passive, le champ perceptif est limité à la seule zone de contact avec l'objet. Les capacités perceptives tactiles y sont donc relativement limitées (Gibson, 1966; Revesz, 1950). Aussi, afin d'appréhender l'ensemble des caractéristiques de l'objet et de compenser l'exiguïté du champ perceptif tactile pour permettre de le percevoir dans son intégralité, il est nécessaire de réaliser des mouvements volontaires d'exploration ou de manipulation avec les doigts et la main. Les mouvements d'exploration manuelle ne se font cependant pas au hasard et sont spécifiques de la propriété de l'objet étudié. Lederman et Klatzky (1987) ont demandé à des adultes d'apparier des objets, sans contrôle visuel, suivant un critère tactile donné (ex : texture, substance) et cela leur a permis d'identifier des procédures exploratoires (Exploratory Procedures ou EP). Ces procédures sont des mouvements spécifiques

[12] Stimulation magnétique transcranienne (TMS): technique qui consiste à appliquer une impulsion magnétique sur l'encéphale à travers le crâne de façon indolore au moyen d'une bobine. En neurosciences cognitives, la TMS engendre une lésion artificielle et temporaire de la zone visée par le champ magnétique. En observant les modifications que cela entraîne sur les performances cognitives, on peut alors en déduire un rôle fonctionnel de la région d'intérêt.

caractérisés par la quantité et la nature des informations qu'ils peuvent fournir. La reconnaissance d'un l'objet implique le traitement de ses différentes propriétés matérielles et géométriques. L'EP qui permet d'extraire le plus précisément possible une propriété est considérée comme *optimale* (Figure 6).

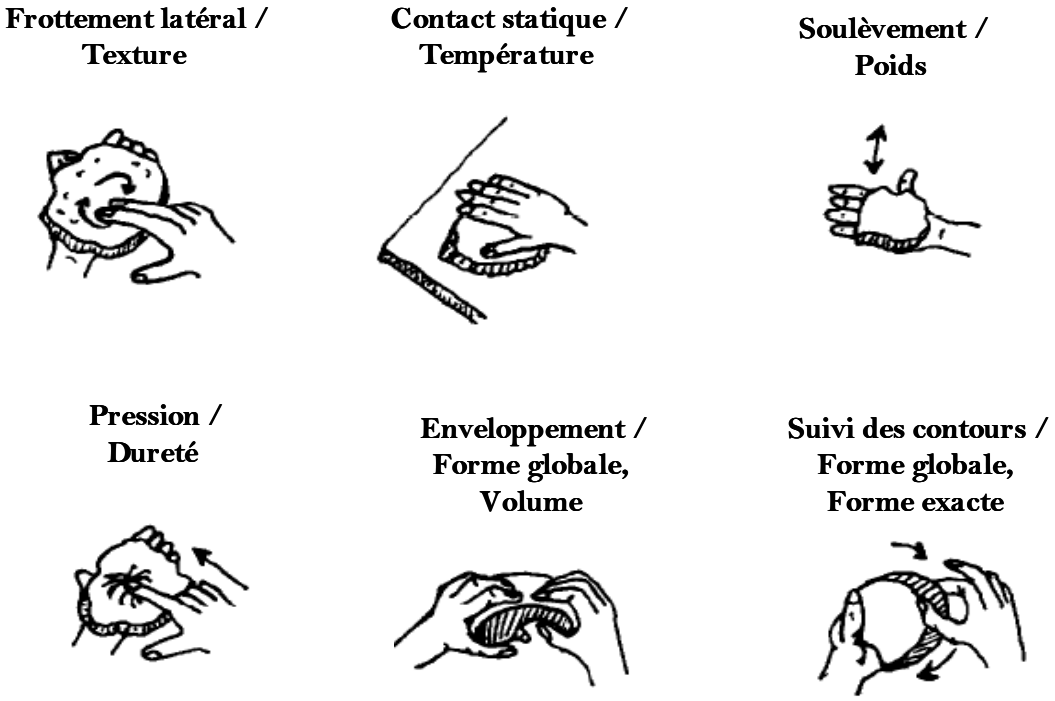

Figure 6 ***Principales procédures exploratoires. Figure adaptée de Lederman et Klatzky (1987)***

Mais souvent, cette EP n'est pas la seule à pouvoir extraire la propriété voulue. Des EP dites *suffisantes* peuvent également intervenir pour extraire la même information ; elles sont souvent moins performantes que l'EP *optimale*. Le *frottement latéral* est uniquement adapté à la texture, le *soulèvement* au poids et la *pression* à la dureté. Le *contact statique* fournit principalement des informations sur la température, mais il fournit aussi des informations sur la forme, la taille, la texture ou encore la dureté. Quant à l'*enveloppement*, il donne des informations globales sur les propriétés alors que le *suivi des contours* fournit des informations précises sur la taille et la forme et une vague idée de la texture et la dureté. Ainsi, chaque EP peut fonctionner indépendamment des autres, ou en association, en respectant certaines règles de compatibilité motrice. De manière similaire aux données en neuroimagerie (voir plus haut), Lederman et Klatzky (1993) montrent qu'en raison de son mode d'exploration, le toucher n'est pas spécialisé dans la perception des propriétés géométriques, domaine de prédilection de la vision, mais plutôt dans les propriétés matérielles. Cette spécialisation s'explique sans doute par la simplicité des procédures

exploratoires optimales pour percevoir les propriétés matérielles alors que celles propres aux propriétés géométriques exigent des mouvements coordonnés dans le temps et l'espace. Lederman et Klatzky (1993) ont notamment observé une stratégie d'exploration séquentielle, en deux temps pour percevoir la forme des objets : les adultes commencent par l'*enveloppement*, mobilisant toute la main et apportant des informations sur la forme globale, puis passent au *suivi des contours*, procédure plus spécifique pour percevoir précisément la forme. L'adulte compense donc les limites sensorielles de son système tactile pas des mouvements exploratoires manuels spécifiques pour détecter les propriétés de l'objet.

Nous venons de mettre en évidence des procédures exploratoires et un traitement cortical très élaboré chez l'adulte. En sachant que les systèmes moteur et cérébral sont d'autant plus immatures que l'enfant est jeune, comment se développe la perception tactile ?

2.2. DEVELOPPEMENT PRECOCE DE LA PERCEPTION TACTILE

Cette partie va s'intéresser au développement précoce de la perception manuelle des propriétés de l'objet, sans contrôle visuel. Pour introduire ces compétences, nous allons décrire les sensibilités tactiles mises en évidence chez le fœtus humain. Ensuite, nous présenterons le grasping qui a longtemps été pensé comme étant un simple réflexe. Cependant, cette idée va être remise en cause. En effet, des études ont mis en évidence des compétences haptiques manuelles précoces en utilisant la méthode d'habituation / réaction à la nouveauté et / ou en mesurant la fréquence des pressions manuelles. Nous exposerons les capacités discriminatives des enfants à terme pour les propriétés de substance, poids et texture. Puis nous présenterons le transfert inter-main de la propriété de texture, capacité sous-tendue par l'intégrité du corps calleux. La propriété de forme, utilisée pour ces travaux de thèse, fera l'objet d'une description plus détaillée du traitement intra-main, de la robustesse de la mémoire haptique face à un évènement interférent ou à un délai plus ou moins long ainsi que du transfert inter-main.

2.2.1. Sensibilités tactiles chez le fœtus humain

Lors de l'embryogenèse, le système somesthésique est le premier sens à se mettre en place et il se développe selon un axe céphalo-caudal. Pour décrire la mise en place

progressive des récepteurs cutanés lors de cette période, des chercheurs ont étudié les réactions de fœtus avortés suite à des stimulations tactiles sur différentes parties du corps (Hooker, 1938, 1952; Humphrey, 1964, 1970). Ainsi, dès la 7ème semaine de gestation, la mise en place des récepteurs cutanés débute. Les terminaisons nerveuses des récepteurs cutanés sont présentes dès 8-9 SA dans la région orale et péri-orale, en effet les fœtus avortés manifestent des réponses motrices à l'effleurement de la lèvre supérieur. Les corpuscules de Meissner et Pacini se développent ensuite très rapidement, puis celui des récepteurs cutanés se poursuit au niveau du visage, de la paume des mains et de la plante des pieds vers 11 SA. Enfin, les récepteurs cutanés sont présents sur toute la surface du corps à 20 SA. Le grasping qui consiste en une flexion des doigts lorsqu'on place quelque chose dans la main apparaît vers 18 SA (Hooker, 1938). Les sources de stimulations tactiles in utero sont assez limitées. Les mouvements de la mère, selon leur amplitude, vont créer des contacts plus ou moins étendus entre le fœtus et la paroi utérine. Mais, le fœtus est aussi en contact avec lui-même : contact entre les mains et le corps, entre les mains et le visage et entre les mains et la bouche. Ce dernier contact peut induire un comportement de succion comme on peut l'observer lors des échographies.

Chez le fœtus, la sensibilité tactile est peu connue et difficile à étudier. Toutefois, des études cliniques ont montré que lors d'interventions obstétricales, les stimulations tactiles provoquaient des accélérations du rythme cardiaque. Ainsi le fœtus en bonne santé réagit à un prélèvement sanguin au niveau du scalp (Clark, Gimovsky, & Miller, 1982), à des pressions manuelles appliquées sur le scalp (Clark, Gimovsky, & Miller, 1984) et à une injection de fluide dans la poche amniotique (Baxi, Randolph, & Miller, 1988). D'autres études cliniques ont montré que le fœtus était aussi sensible à la douleur. Les concentrations plasmatiques d'opiacés endogènes sont plus élevées que la normale chez les enfants nés en siège ou extraits par ventouse (Puolakka, Kauppila, Leppaluoto, & Vuolteenaho, 1982). De plus, une piqûre au niveau d'une région non innervée (veine ombilicale côté placenta) ou d'une région innervée (veine intra-hépathique) n'affecte pas de la même façon les marqueurs de stress (cortisol, endorphines), qui augmentent significativement dans le second cas. Les fœtus présentent, en réponse à une procédure invasive, une réponse hormonale de stress. Ces résultats suggèrent que le fœtus humain peut ressentir la douleur in utero dès 23 SA (Giannakoulopoulos, Sepulveda, Kourtis, Glover, & Fisk, 1994). Une étude similaire a mesuré les taux plasmatiques de noradrénaline. Le taux de noradrénaline augmente lorsque la piqûre est effectuée dans la zone innervée. Puisqu'ils ne trouvent pas de corrélation entre les variations des taux maternel et fœtal, ces résultats indiquent que le fœtus peut manifester

une réponse de stress noradrénergique indépendante suite à une piqûre dès 18 SA (Giannakoulopoulos, Teixeira, Fisk, & Glover, 1999). En résumé, malgré la difficulté d'étudier le toucher in utero, le fœtus humain semble déjà posséder une certaine sensibilité tactile.

2.2.2. Le grasping, un simple réflexe ?

Déjà présent in utero, le réflexe de grasping en réponse à une stimulation de la paume de la main était considéré comme un comportement important du nouveau-né et de l'enfant favorisant l'interaction avec son environnement. Ainsi à la naissance, l'introduction d'un objet dans la main du nouveau-né provoque la fermeture de la paume de la main et des doigts sur l'objet (Twitchell, 1965, 1970). Ce réflexe a longtemps été décrit comme un pattern rigide et invariable, mobilisant une importante force motrice au détriment de toute sensibilité manuelle, ce qui limiterait donc le traitement sensoriel.

Bushnell et Boudreau (1991, 1993, 1998) proposent un modèle du développement de la perception haptique chez les bébés qui s'inspire des travaux de Lederman et Klatzky (1987) chez l'adulte. Selon eux, pendant la première année de vie, la perception haptique est incomplète ou altérée car les bébés sont limités dans leurs comportements moteurs. Ils seraient incapables d'effectuer les mouvements nécessaires à la détection des propriétés de l'objet. La perception haptique va évoluer en fonction des changements moteurs au cours du développement. Les auteurs décrivent trois phases au cours desquelles les capacités motrices manuelles progressent pendant la première année. Selon les auteurs, pour chaque phase, les bébés sont capables de détecter certaines propriétés, en fonction de leurs capacités motrices. Ainsi, au cours de la première phase, de la naissance à l'âge de 3 mois, le bébé peut seulement tenir fermement un objet avec son poing (*clutching*), défini comme un mouvement fortement contrôlé par le réflexe d'agrippement. Ce mouvement de *clutching* ressemble aux procédures exploratoires de *contact statique* et d'*enveloppement* décrites chez l'adulte et il peut parfois être accompagné d'une forme rudimentaire de la procédure exploratoire de *pression*. Dans ces conditions, le nouveau-né peut détecter la température et la taille et dans une moindre mesure, la dureté. Par contre, il ne peut pas encore percevoir les autres propriétés, étant dépourvu de mouvements appropriés de la main pour obtenir des informations précises sur ces propriétés. A partir de 4 mois, les mouvements manuels impliquent des activités rythmiques stéréotypées qui permettent la perception de la dureté, du poids et de la texture. Pour percevoir la forme, il faut attendre la troisième phase qui débute vers l'âge de 10 mois.

Cette phase est caractérisée par des activités d'exploration bi-manuelle. En résumé, selon ce modèle, les enfants doivent être capables d'un certain nombre de compétences motrices pour que les compétences perceptives associées puissent émerger. Les procédures exploratoires les plus complexes seront plus difficilement exécutables et se mettront donc en place plus tardivement. Dans cette logique, la discrimination des différentes propriétés de l'objet se construit séquentiellement, de la plus simple à explorer jusqu'à la plus complexe, de la température à la forme.

Cependant, le modèle de Bushnell et Boudreau (1991, 1993, 1998) a été remis en cause par des données comportementales récentes qui ont révélé des compétences haptiques à peine quelques heures après la naissance. Même si le réflexe de grasping est l'activité manuelle dominante du nouveau-né, ses compétences ne doivent pas être réduites à de simples pressions sur les objets, sans prise d'informations. Le nouveau-né est en effet déjà capable de percevoir manuellement certaines propriétés de l'objet.

2.2.3. Perception manuelle des propriétés matérielles de l'objet chez le nouveau-né

Des études ont mis en évidence des perceptions tactiles manuelles précoces en utilisant la méthode d'habituation / réaction à la nouveauté et / ou en mesurant la fréquence des pressions manuelles chez le nouveau-né à terme. Nous allons d'abord présenter les capacités discriminatives des enfants nés à terme pour les propriétés de substance, poids et texture. Puis, nous verrons que les nouveau-nés sont aussi capables de transférer des informations de texture d'une main à l'autre, capacité sous-tendue par l'intégrité du corps calleux. La propriété de forme fera l'objet d'une description plus détaillée dans la partie suivante, propriété que nous avons décidé d'étudier dans ces travaux de thèse.

2.2.3.1. Traitement intra-main

- Substance

Une des premières études à avoir mis en évidence une discrimination d'une propriété de l'objet chez le nouveau-né a été réalisée par Rochat (1987). Il utilise un transducteur de pression relié à deux stimuli cylindriques, l'un mou (élastique) et l'autre dur (rigide) chez 24 nouveau-nés âgés de 70 heures en moyenne. Un des objets est placé dans la main droite du

nouveau-né pendant trois minutes. L'enregistrement de la fréquence des pressions manuelles démontre que les nouveau-nés exercent une pression significativement plus importante lorsqu'ils manipulent l'objet dur comparé à l'objet mou. De plus, l'analyse qualitative des mouvements de la main et des doigts permet de distinguer deux patterns distincts d'exploration selon la substance de l'objet. L'objet dur est associé à un pattern plus important d'ouverture / fermeture rapide des doigts alors que l'objet mou est associé à un pattern plus important de grasping rigide (Figure 7). Cette étude révèle que le nouveau-né est capable de discriminer un objet dur d'un objet mou avec sa main en faisant varier son activité exploratoire (pression manuelle et pattern d'exploration) selon la substance de l'objet.

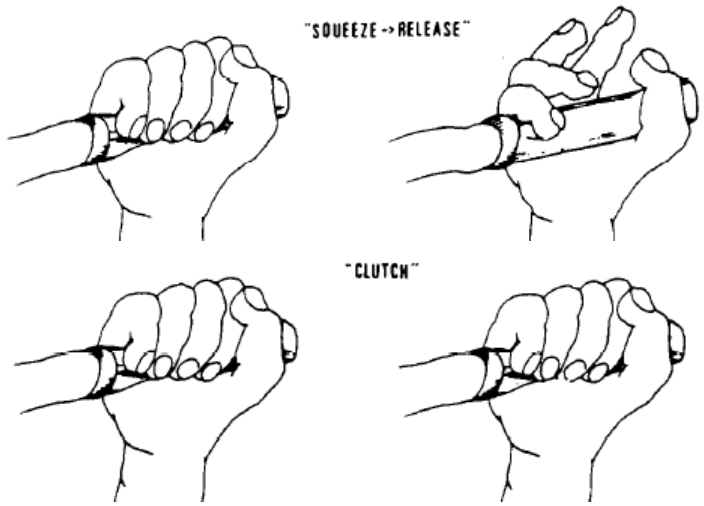

Figure 7 ***Présentation des patterns d'ouverture / fermeture des doigts (Squeeze-Release) et de grasping rigide (Clutch). Figure issue de Rochat (1987)***

❖ Poids

Hernandez-Reif, Field, Diego et Largie (2001) se sont intéressés à la discrimination de la propriété de poids chez le nouveau-né. Ils utilisent une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté chez 23 nouveau-nés âgés de 44 heures en moyenne. L'habituation tactile consiste à présenter de manière répétée un objet dans la main de l'enfant jusqu'à ce que l'enfant soit considéré comme habitué. Dans cette expérience, l'habituation est une habituation contrôlée par le bébé : l'enfant est considéré comme habitué quand la somme de deux essais consécutifs est inférieure ou égale à 50 % de la somme des deux premiers essais. Deux stimuli sont présentés dans la main droite du nouveau-né, l'un est une fiole remplie de coton (stimulus léger, 2 g.) et l'autre, une fiole remplie de graines (stimulus lourd, 8 g.). Tout

d'abord, lors de la phase d'habituation, une diminution progressive du temps de tenue est observée quel que soit le stimulus, reflétant le fait que les nouveau-nés sont capables d'extraire des informations sur les objets avec leurs mains. Puis, lors de la phase test, une augmentation du temps de tenue est observée suite à la présentation du nouvel objet. Ce résultat révèle que les nouveau-nés perçoivent la différence de poids et sont donc capables de discriminer deux objets de poids différents. Cependant, cette étude ne renseigne pas sur l'activité manuelle exploratoire des nouveau-nés pour obtenir des informations sur la propriété de poids. C'est pourquoi Molina, Guimpel et Jouen (2006) ont réalisé une expérience similaire en mesurant l'amplitude et la fréquence des activités manuelles chez 20 nouveau-nés âgés de 4 jours en moyenne. L'habituation est aussi une habituation contrôlée par le bébé mais où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des deux premiers essais. Les deux stimuli présentés dans la main droite du nouveau-né sont des tétines de forme conique, l'une légère (12 g.) et l'autre lourde (42 g.). Ils retrouvent des résultats identiques à ceux de Hernandez-Reif, Field, Diego et Largie (2001) pour les temps de tenue. Lors de la phase d'habituation, l'enregistrement de la fréquence des pressions manuelles montre que les nouveau-nés exercent une amplitude de pression significativement plus importante lorsqu'ils manipulent l'objet léger comparé à l'objet lourd, mais cette amplitude diminue progressivement quel que soit l'objet. Lors de la phase test, une augmentation de la fréquence des pressions manuelles est observée lors de la présentation du nouvel objet. L'introduction d'un objet de poids nouveau déclenche une augmentation de l'activité exploratoire manuelle du nouveau-né, confirmant qu'il est capable de discriminer tactilement le poids des objets.

- ❖ Texture

Molina et Jouen (1998) reprennent la même procédure que Rochat (1987). Ils utilisent un transducteur de pression relié à deux stimuli cylindriques, l'un lisse et l'autre rugueux (surface recouverte de perles) chez 22 nouveau-nés âgés de 3 jours en moyenne. Un des objets est placé dans la main droite du nouveau-né sans limitation de temps pendant un seul essai. L'essai commence quand l'enfant saisit l'objet et s'arrête quand il le lâche. L'enregistrement de la fréquence des pressions manuelles montre que les nouveau-nés exercent une pression significativement plus importante lorsqu'ils manipulent l'objet lisse comparé à l'objet rugueux. Cette étude révèle que le nouveau-né est capable de discriminer un objet lisse d'un objet rugueux avec sa main en faisant varier son activité exploratoire selon la texture de l'objet. Les mêmes auteurs ont réalisé une seconde étude portant sur la

discrimination de texture, en utilisant une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté couplée à l'enregistrement de fréquence des pressions manuelles chez 32 nouveau-nés âgés de 4 jours en moyenne (Molina & Jouen, 2004). L'habituation est une habituation contrôlée par le bébé où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des deux premiers essais. Deux stimuli sont présentés dans la main droite du nouveau-né, l'un rugueux et l'autre lisse. Tout d'abord, lors de la phase d'habituation, les temps de tenue et la pression manuelle diminuent progressivement quelle que soit la nature du stimulus, confirmant ainsi la capacité des nouveau-nés à extraire des informations sur les objets avec leurs mains. Parallèlement, l'enregistrement de la fréquence des pressions manuelles met en exergue que les nouveau-nés exercent une amplitude de pression significativement plus importante lorsqu'ils manipulent l'objet lisse comparé à l'objet rugueux, mais cette amplitude diminue progressivement quel que soit l'objet. Puis, lors de la phase test, une augmentation du temps de tenue et de la pression manuelle est observée suite à la présentation du nouvel objet comparée à celle de l'objet familier. Ce résultat confirme que les nouveau-nés sont également capables de discriminer deux objets de textures différentes.

Ces recherches chez les nouveau-nés témoignent de leur capacité à détecter et percevoir les différentes propriétés de l'objet avec leurs mains, sans contrôle visuel. La mise en évidence de ces compétences précoces remet en cause le modèle de Bushnell et Boudreau (1991, 1993, 1998) . Par conséquent les contraintes motrices ne seraient pas un obstacle à la perception haptique des propriétés de l'objet à la naissance. Suite aux résultats obtenus dans l'étude qui comparait les résultats de l'habituation et ceux des variations de pressions manuelles selon la texture des objets, Molina et Jouen (2004) proposent que le grasping serait une activité cyclique nécessaire et non spécifique que les nouveau-nés utilisent comme outil exploratoire pour prélever des informations sur les propriétés de l'objet. Consécutivement à ces conclusions, Jouen et Molina (2005) présupposent que cette activité cyclique manuelle des nouveau-nés informerait sur les processus cognitifs présents dès la naissance. Bien que les nouveau-nés ne soient pas capables d'effectuer des mouvements manuels précis, à savoir les procédures exploratoires, leur activité manuelle cyclique, qui consiste en l'ouverture / fermeture de la main, constituerait un pattern de mouvement exploratoire général. Ce pattern, de par sa variabilité, permettrait aux nouveau-nés de percevoir tactilement les différentes propriétés de l'objet malgré l'absence de procédures exploratoires spécifiques. Ainsi, ce pattern de mouvement exploratoire général serait nécessaire pour extraire tactilement des informations sur les objets explorés et suffisamment variable pour traiter les différentes propriétés de l'objet.

2.2.3.2. Transfert inter-main

❖ Bases neuronales du transfert inter-main

Le transfert inter-main est la capacité d'un individu à reconnaître qu'un objet déjà exploré par une main est le même que celui présenté dans l'autre main. Ce transfert reflète la capacité de l'individu à mémoriser des informations sur un objet, à la conserver en mémoire et à la comparer avec l'information obtenue dans l'autre main, nécessitant un transfert d'informations entre les deux hémisphères cérébraux. Des études en neuroimagerie menées chez l'adulte, ont démontré que le transfert d'informations tactiles repose sur l'intégrité de la partie postérieure du corps calleux (Fabri et al., 2005; Fabri et al., 2001). Bien que le corps calleux commence à se développer avant la naissance, les premières fibres calleuses sont observées vers 10-11 SA et il ne mature que très lentement avec un processus de myélinisation qui se poursuivra jusqu'à la puberté (Bloom & Hynd, 2005). Cependant, selon une récente étude de neuroimagerie utilisant l'IRM de diffusion, même si la myélinisation n'est pas terminée, les principaux faisceaux de fibres, dont ceux du corps calleux, sont déjà en place à la naissance (Dubois, Hertz-Pannier, Dehaene-Lambertz, Cointepas, & Le Bihan, 2006). Dans ces conditions, l'existence d'un transfert inter-main à la naissance semble plausible.

❖ Texture

C'est en effet ce qu'ont mis en évidence Sann et Streri (2008). Elles utilisent la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté chez 24 nouveau-nés âgés de 2 jours afin d'étudier leur capacité à traiter et échanger des informations de texture (expérience 1) entre leurs mains, sans contrôle de la vision. L'habituation est une habituation contrôlée par le bébé où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des deux premiers essais. Un cylindre lisse est présenté à la moitié des nouveau-nés et un cylindre rugueux est présenté à l'autre moitié. Dans chacun de ces groupes, le stimulus est présenté soit dans la main droite, soit dans la main gauche du nouveau-né. Lors de la phase test, les objets nouveau et familier sont présentés alternativement l'un après l'autre pendant 4 essais, dans la main opposée à celle de l'habituation. Les résultats indiquent que les nouveau-nés présentent une préférence pour l'objet nouveau lors de la phase test. Malgré l'immaturité du corps calleux, les données révèlent que les nouveau-nés différencient bien les

deux objets, attestant de l'existence d'un transfert inter-main de la texture, indépendamment du sens de transfert (main gauche vers main droite ou inversement).

2.2.4. Développement de la perception manuelle de la forme des objets

Dans la partie précédente, nous avons mis en évidence des capacités d'habituation et de discrimination des propriétés de substance, poids et texture dès la naissance ainsi qu'une capacité de transfert inter-manuel de la texture. Nous allons maintenant nous intéresser plus en détail au développement de la perception tactile manuelle pour traiter les informations concernant la forme d'un objet. Nous allons d'abord détailler les études relatant le traitement intra-main de la forme chez les nouveau-nés, c'est-à-dire lorsque l'habituation et la discrimination s'effectuent de la même main, puis nous aborderons les études réalisées sur la robustesse de cette mémoire haptique face à un évènement interférent ou lors d'un délai plus ou moins long chez des enfants de 2 à 8 mois. Enfin, nous verrons que les nouveau-nés et les enfants de 2 et 6 mois sont aussi capables de transférer des informations de forme des objets d'une main à l'autre.

2.2.4.1. Traitement intra-main

Streri et Pêcheux (1986) ont adapté la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté utilisée dans la modalité visuelle à la modalité tactile. Les auteurs veulent déterminer si une habituation tactile sans contrôle de la vision existe chez des enfants âgés de 4-5 mois. Si tel est le cas, cela constitue une approche pour la discrimination tactile. De plus, l'habituation tactile est comparée à l'habituation visuelle en utilisant les mêmes stimuli. L'habituation est une habituation contrôlée par le bébé où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale à la moitié de la somme des deux premiers essais. Deux paires de stimuli sont présentées : une étoile (rectiligne) et une fleur (curviligne), un carré plein et un carré à trou. Le stimulus est présenté tactilement dans la main droite pour 32 enfants et visuellement pour les 32 autres. La phase d'habituation est suivie d'une phase test où l'objet de forme nouvelle est présenté dans la même modalité. Les résultats montrent qu'une habituation tactile sans contrôle de la vision existe chez les enfants âgés de 4-5 mois, suivie d'une discrimination tactile mise en évidence par une augmentation du temps de tenue pour le nouvel objet. Le temps de tenue total lors de l'habituation tactile est 3 fois plus

important que celui de l'habituation visuelle, alors même que le nombre d'essais pour atteindre le critère dans les deux modalités est le même. Les informations de l'objet sont analysées dans les deux modalités mais elles semblent être traitées plus lentement dans la modalité tactile que dans la modalité visuelle (Hatwell, 1986).

Streri, Lhote et Dutilleul (2000) utilisent pour la première fois la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel, chez 24 nouveau-nés âgés de 2 jours afin d'étudier leur capacité à percevoir et discriminer la propriété de forme des objets. L'habituation est une habituation contrôlée par le bébé où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des deux premiers essais. Un prisme (forme rectiligne) est présenté à la moitié des nouveau-nés et un cylindre (forme curviligne) est présenté à l'autre moitié. Dans chacun de ces groupes, le stimulus est présenté soit dans la main droite, soit dans la main gauche du nouveau-né. Au fur et à mesure des essais, la durée des temps de tenue de l'objet diminue, révélant la présence d'une habituation tactile dès la naissance pour les deux mains quelle que soit la forme de l'objet. De plus, lorsque l'objet nouveau est présenté dans la même main que celle de l'habituation, le temps de tenue augmente (Figure 8). Á la naissance, les nouveau-nés sont donc capables de traiter et d'encoder des informations sur la forme des objets et de faire la différence entre ces deux formes d'objets.

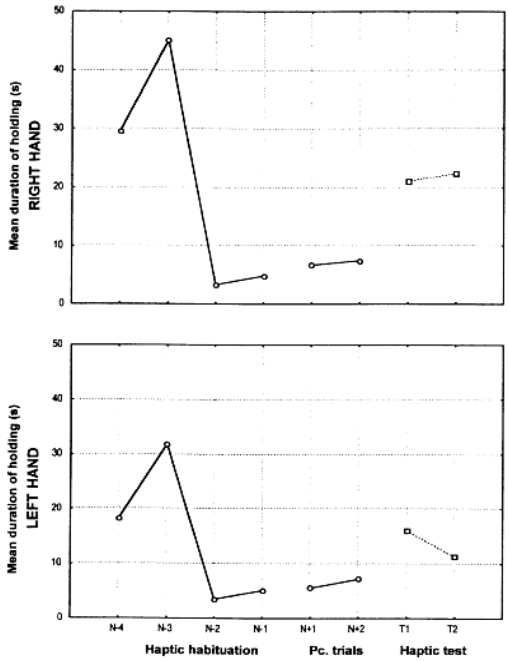

Figure 8 ***Habituation et réaction à la nouveauté chez le nouveau-né pour la propriété de forme. Durée moyenne du temps de tenue lors de la phase d'habituation (les 4 derniers essais) et lors de la phase test avec la main droite et gauche. Pc. trials = 2 essais supplémentaires après l'habituation avec l'objet familier ; T1 et T2 = 2 essais avec l'objet nouveau. Figure issue de Streri, Lhote et Dutilleul (2000)***

Streri, Lemoine et Devouche (2008) utilisent la même procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel, chez 12 bébés âgés de 2 mois et 12 bébés âgés de 6 mois. Dans cette expérience, le critère d'habituation est atteint quand la somme de deux essais consécutifs est inférieure ou égale à la moitié de la somme des deux premiers essais. Les stimuli présentés sont un anneau et une croix. Le reste de l'expérience est identique à celle de Streri, Lhote et Dutilleul (2000). Les bébés de 2 et 6 mois présentent aussi une préférence pour le nouvel objet.

L'habituation suivie du test de réaction à la nouveauté est une procédure qui a permis d'étudier et de mettre en évidence une mémoire haptique chez les bébés. En effet le lien entre habituation et mémoire est maintenant clairement établi (Bornstein, 1998). Les expériences précédemment décrites en sont une preuve : elles montrent que le bébé est capable d'extraire des informations sur la forme des objets et de les encoder. Mais ces données ne nous renseignent pas sur la robustesse de l'encodage au délai ou à l'interférence. Catherwood (1993) a étudié la robustesse de la mémoire haptique après un délai de 5 minutes, après une interférence haptique (présentation d'un nouvel objet) ou sans délai ni interférence (situation contrôle) chez 48 enfants âgés de 8 mois. Tous les enfants sont familiarisés pendant 30 secondes avec un objet (cube ou sphère). Puis lors de la phase test, le groupe contrôle se voit présenter immédiatement après la phase d'habituation l'objet familier et un objet nouveau (ordre contrebalancé), tandis que le groupe « délai » se voit présenter 5 minutes après la phase d'habituation l'objet familier et un objet nouveau. Après la phase d'habituation, le groupe « interférence » est de nouveau familiarisé avec un nouvel objet (objet interférant) pendant 30 secondes, avant de se voir présenter l'objet familier (de la première habituation) et un objet nouveau. Les enfants du groupe contrôle et du groupe « délai » reconnaissent l'objet avec lequel ils ont été familiarisés, témoignant d'une reconnaissance de la forme de l'objet. Le groupe « interférence » ne présente pas de reconnaissance de la forme de l'objet. L'interférence semble fragiliser la mémoire haptique sur la forme des objets. En effet dans cette même expérience, l'interférence n'empêche pas la reconnaissance d'une texture familière.

Lhote et Streri (1998) ont étudié la robustesse de la mémoire chez 96 enfants âgés de 2 mois. Dans cette expérience, l'habituation est contrôlée par le bébé, le critère d'habituation est atteint quand la somme de deux essais consécutifs est inférieure ou égale à la moitié de la somme des deux premiers essais. Les stimuli présentés sont une paire d'objets plats (disque ou carré) ou une paire d'objets volumétriques (cône et assiette). Puis lors de la phase test, l'objet familier est présenté 2 fois au groupe contrôle immédiatement après la phase d'habituation. Pour le groupe « délai », l'objet familier est présenté 2 fois, 30 secondes après

la phase d'habituation. Enfin, le groupe « interférence » se voit présenter 2 fois un nouvel objet puis 2 fois l'objet familier. Les résultats mettent en évidence une mémoire de reconnaissance après un court délai seulement chez les garçons ainsi qu'après interférence sous certaines conditions. Chez les filles, la mémoire de reconnaissance a été mise en évidence seulement après interférence de la main gauche. La mémoire haptique semble être bien fragile, dépendante du sexe du bébé et de la main sollicitée. Les mêmes auteurs ont reproduit cette expérience chez 128 enfants âgés de 4 mois (Lhote & Streri, 2003), en rajoutant un groupe « délai long » de 2 minutes. Une mémoire de reconnaissance a été mise en évidence pour chacune des mains et chacun des sexes chez les enfants de 4 mois. Les résultats révèlent l'existence d'une mémoire haptique à court terme (30 sec) et à long terme (2 min.). Cependant, les auteurs concluent à une reconnaissance de l'objet familier après interférence de la main gauche, mais les performances semblent toutefois limitées pour la main droite. L'ensemble de ces résultats montre qu'il existe une réelle mémoire de reconnaissance haptique entre l'âge de 2 et 8 mois, même si celle-ci reste fragile, en particulier après interférence.

En résumé, quand le système haptique est étudié sans contrôle visuel, ses capacités de prise et de traitement d'informations sur la propriété de forme de l'objet sont relativement importantes. En effet, dès la naissance, les nouveau-nés sont capables d'encoder, de retenir et de reconnaître une certaine quantité d'informations sur la forme de l'objet. Les activités manuelles exploratoires décrites chez les nouveau-nés, à savoir l'enserrement et des pressions légères sur les objets, semblent être suffisantes pour expliquer ces compétences tactiles manuelles précoces.

2.2.4.2. Transfert inter-main

De la même manière que pour la propriété de texture, Sann et Streri (2008) utilisent la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté chez 24 nouveau-nés âgés de 2 jours afin d'étudier leur capacité à traiter et à échanger des informations de forme (expérience 2) entre leurs mains, sans contrôle de la vision. L'habituation est une habituation contrôlée par le bébé où la somme de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des deux premiers essais. Un prisme (forme rectiligne) est présenté à la moitié des nouveau-nés et un cylindre (forme curviligne) est présenté à l'autre moitié. Dans chacun de ces groupes, le stimulus est présenté soit dans la main droite, soit dans la main gauche du nouveau-né. Lors de la phase test, les objets nouveau et familier sont présentés alternativement l'un après l'autre pendant 4 essais, dans la main opposée à celle de

l'habituation. Les résultats montrent que les nouveau-nés présentent une préférence pour l'objet familier lors de la phase test et non une préférence pour le nouveau comme on peut s'y attendre dans ce type de procédure (Soroka, Corter, & Abramovitch, 1979). A l'inverse, comme nous l'avons évoqué précédemment, les auteurs retrouvent une préférence pour la nouvelle texture dans la main opposée (expérience 1) dans cette même étude. Cette divergence de préférence selon la propriété de l'objet lors d'un transfert inter-main (Figure 9) s'expliquerait, selon les auteurs, par la nécessité d'un traitement plus élaboré dans le cas de la forme. Ainsi, après habituation tactile sur une forme, les nouveau-nés n'en auraient qu'une représentation partielle. C'est pourquoi, lorsqu'ils tiennent cette forme puis une nouvelle forme dans l'autre main, ils tiendraient plus longtemps la forme familière pour terminer leur exploration afin de compléter la représentation de cette forme. Malgré l'immaturité du corps calleux, les données indiquent que les nouveau-nés différencient bien les deux objets, attestant de l'existence d'un transfert inter-main de la forme, indépendamment du sens de transfert (main gauche vers main droite ou inversement).

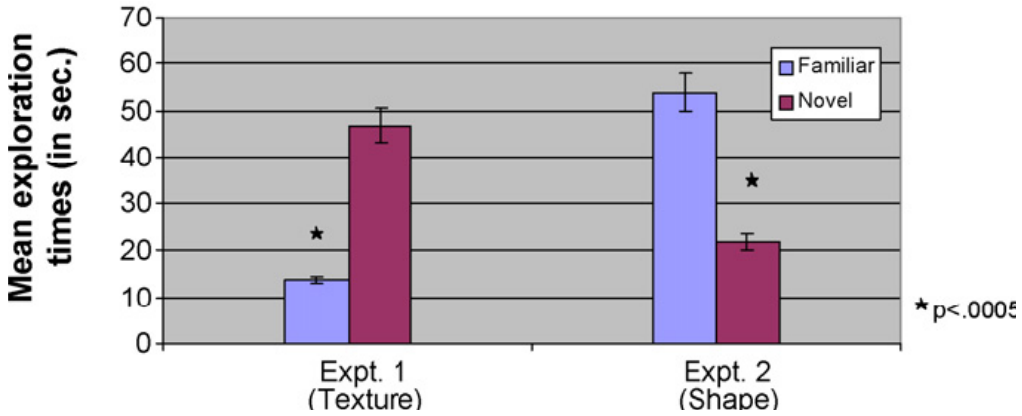

Figure 9 ***Transfert inter-main chez les nouveau-nés. Moyenne du temps de tenue (en secondes) et erreur standard lors de la phase test selon la propriété de l'objet (Texture vs. Forme) et selon la nature de l'objet (Nouveau vs. Familier). Figure issue de Sann et Streri (2008)***

Le transfert inter-main de la forme a aussi été évalué chez des enfants âgés de 2 et 6 mois. Streri, Lemoine et Devouche (2008), après avoir mis en évidence un traitement intra-main (voir partie précédente *2.2.4.1. Traitement intra-main*) de la forme de l'objet avec une préférence pour la nouvelle forme chez les enfants de 2 et 6 mois, se sont intéressés au transfert inter-main chez 48 autres enfants (24 âgés de 2 mois et 24 âgés de 6 mois). Rappelons qu'ils utilisent aussi la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel et que les stimuli présentés sont un anneau et une croix. Dans cette expérience, le critère d'habituation est atteint quand la somme de deux essais consécutifs est inférieure ou égale à la moitié de la somme des deux premiers essais. Pour étudier le

transfert inter-main, lors de la phase test, pour chacun des 2 groupes d'âge, 12 enfants reçoivent deux fois l'objet familier (SO / OH : Same Object / Opposite Hand) et 12 autres enfants reçoivent 2 fois le nouvel objet (DO / OH : Different Object / Opposite Hand). Les bébés âgés de 2 mois présentent le même comportement que les nouveau-nés en tenant plus longtemps l'objet familier, tandis que les enfants âgés de 6 mois présentent une préférence pour le nouvel objet (Figure 10). Ces résultats suggèrent que le traitement inter-main de la forme de l'objet se développerait entre l'âge de 2 et 6 mois. Á l'âge de 2 mois, l'enfant aurait encore une représentation partielle de la forme de l'objet alors que l'enfant âgé de 6 mois aurait un traitement suffisamment élaboré de la forme de l'objet pour se le représenter de façon relativement complète.

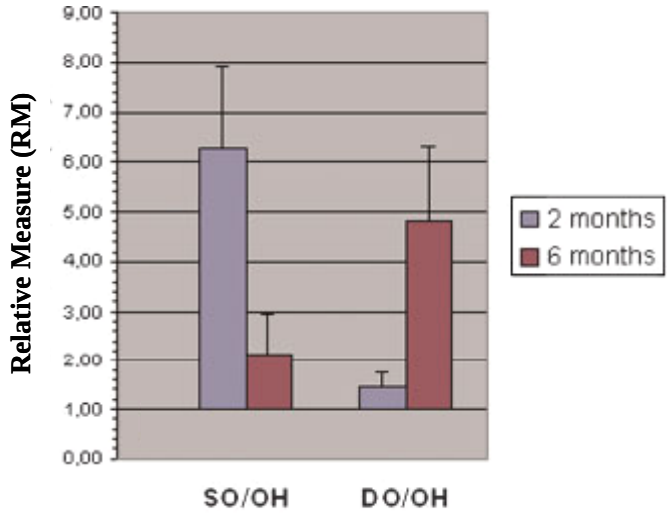

Figure 10 ***Transfert inter-main chez les enfants de 2 et 6 mois. Moyenne des mesures relatives (RM = Temps de tenue des 2 essais de la phase test / Temps de tenue des 2 derniers essais de l'habituation) et erreur standard en fonction de l'âge des enfants (2 mois vs. 6 mois) et de la nature de l'objet (Familier (SO/OH) vs. Nouveau (DO/OH)). Figure adaptée de Streri, Lemoine et Devouche (2008)***

En résumé, des compétences d'habituation et de discrimination haptiques manuelles des différentes propriétés de l'objet ont été mises en évidence chez le nouveau-né, sans contrôle visuel. Bien que les nouveau-nés ne soient pas capables d'effectuer des mouvements manuels précis, à savoir les procédures exploratoires, leur activité manuelle qui consiste en une ouverture / fermeture de la main, constituerait une exploration suffisante de l'objet pour encoder, traiter et stocker en mémoire des informations sur plusieurs propriétés de l'objet. De telles compétences existeraient-elles aussi chez le nouveau-né prématuré ? L'enfant prématuré possède déjà le réflexe de grasping. Néanmoins, les contraintes biomécaniques sont d'autant plus importantes dans cette population que ces enfants souffrent d'hypotonie, c'est-à-dire qu'ils possèdent un faible tonus musculaire. De plus son immaturité cérébrale

pourrait être un frein à ce type de compétences haptiques. Que sait-on sur les compétences tactiles déjà mises en évidence chez le nouveau-né prématuré ?

2.3. PERCEPTION TACTILE DE L'ENFANT PREMATURE

Cette partie va s'intéresser à la perception tactile des enfants prématurés. Tout d'abord, nous présenterons des études sur le toucher passif des enfants prématurés. Nous entendons par toucher passif, toute stimulation appliquée sur le corps de l'enfant qui n'implique pas d'exploration active du stimulus par l'enfant, ce que nous opposons au toucher actif ou haptique. Les études évoquées traiteront des réponses physiologiques et comportementales en réponse à une stimulation tactile passive répétitive jusqu'à l'âge du terme normal (40 SA) ainsi que les activations cérébrales du cortex somatosensoriel. Ensuite, nous aborderons de manière non exhaustive deux grands types d'études intégrant le traitement haptique manuel des objets faites chez les enfants prématurés : celles portant sur les comportements d'atteinte (reaching), de saisie (grasping) et d'exploration des objets sous contrôle visuel et celles étudiant le transfert intermodal entre la vision et le toucher. Enfin, nous exposerons les objectifs et les hypothèses des études réalisées dans ce travail de thèse.

2.3.1. Le toucher passif chez l'enfant prématuré

2.3.1.1. Etudes comportementales et physiologiques

Les études qui s'intéressent à la capacité de traitement des informations tactiles chez le prématuré sont rares. Nous allons présenter quatre études qui évaluent les aptitudes des prématurés à répondre comportementalement et physiologiquement à une stimulation tactile appliquée sur une partie du corps de l'enfant. Tout d'abord, Rose, Schmidt et Bridger (1976) se sont intéressés aux réponses comportementales et physiologiques manifestées par des enfants nés à terme et prématurés suite à une stimulation tactile appliquée au bas de l'abdomen. Les réponses des mouvements du corps et les réponses cardiaques sont mesurées en phase de sommeil agité chez 20 enfants prématurés âgés de 38+5 SA en moyenne (nés vers 33+2 SA) et 20 enfants nés à terme âgés de 2-3 jours. Les stimuli appliqués sont trois

filaments issus d'un esthésiomètre qui diffèrent par leurs diamètres. Chaque filament est appliqué rapidement cinq fois, chaque application durant 2,5 secondes environ. L'intervalle entre l'application des différents stimuli est de 30 secondes. La situation contrôle consiste à n'appliquer aucune stimulation et elle permet de renseigner sur un état basal comportemental et physiologique. Les résultats ne montrent pas de modifications de la réponse cardiaque suite aux différentes stimulations tactiles chez les enfants prématurés au contraire des enfants nés à terme. Cependant, les enfants prématurés et nés à terme manifestent une modification dans leur réponse comportementale suite à l'application du stimulus de plus grande intensité, même si la réponse est plus faible chez les enfants prématurés. Cette première étude témoigne de l'existence de différences de réponses entre les enfants nés à terme et les prématurés suite à une stimulation tactile répétée.

Rose, Schmidt, Riese et Bridger (1980) ont repris en partie la même méthodologie et se sont interrogés sur l'influence d'une intervention tactile préalable (prémices de la thérapie par le massage) ainsi que de la phase de sommeil lors du test sur les réponses des enfants. Les réponses des mouvements du corps et les réponses cardiaques sont mesurées en phase de sommeil agité et en phase de sommeil profond chez 30 enfants prématurés sans intervention âgés de 37+6 SA en moyenne (nés vers 33+2 SA), 30 enfants prématurés avec intervention âgés de 37+2 SA en moyenne (nés vers 32+5 SA) et 30 enfants nés à terme sans intervention âgés de 2-3 jours. L'intervention tactile consiste en un massage du corps de l'enfant durant 20 minutes trois fois par jours, cinq fois par semaine. Au total, l'intervention tactile dure 13 jours, le dernier jour étant la veille du test. Lors du test, le stimulus tactile utilisé est celui qui possédait le plus gros diamètre dans l'étude de Rose, Schmidt et Bridger (1976). Le stimulus est appliqué dix fois de manière alternée avec une condition contrôle où aucun stimulus n'est présenté. Les résultats indiquent que les réponses comportementales et cardiaques des enfants prématurés avec intervention sont similaires à celles des enfants à terme en phase de sommeil agité suite à la stimulation tactile alors que les enfants prématurés sans intervention ne présentent qu'une réponse comportementale, pattern de réponses retrouvées dans l'étude de Rose, Schmidt et Bridger (1976). En phase de sommeil profond, l'intervention ne modifie pas les réponses cardiaques et comportementales, les prématurés répondent de manière identique. Ce n'est pas le cas lorsque les stimulations sont faites pendant le sommeil profond. Cela confirme qu'il existe bien des différences de réponse suite à une stimulation tactile entre les enfants nés à terme et les prématurés. Néanmoins, l'intervention semble réduire ces différences, témoignant des effets bénéfiques d'une thérapie par le massage. De plus, les informations n'étant pas traitées de la même façon en phase de

sommeil profond ou agité, cette étude met en avant l'intérêt de contrôler les états d'éveil et de sommeil des enfants lorsqu'on les stimule tactilement.

Une troisième étude vient renforcer ces résultats en utilisant une procédure d'habituation (Field, Dempsey, Hatch, Ting, & Clifton, 1979). Cette étude, que nous avions en partie introduite pour aborder l'audition chez les prématurés, compare aussi les réponses comportementales et cardiaques entre 18 prématurés d'âge post-conceptionnel de 37 SA (nés à 33 SA) et 18 nouveau-nés à terme âgés de 3 jours, qui ont tous été habitués avec le même filament que celui utilisé par Rose, Schmidt, Riese et Bridger (1980). L'habituation consiste en dix présentations successives du stimulus. De manière identique aux résultats obtenus en audition, les enfants à terme présentent une diminution des réponses cardiaques et comportementales lors de l'habituation alors que les enfants prématurés présentent seulement une diminution de la réponse comportementale. Ces résultats confirment les résultats précédemment obtenus. Les auteurs proposent que cette différence entre les deux populations soit due à un seuil d'habituation qui serait plus élevé chez les prématurés, seuil qui n'aurait donc pas été atteint dans cette étude. Ils supposent qu'une fois ce seuil atteint, les réponses entre les deux populations seraient équivalentes. Ces trois premières études mettent en avant des différences de réponses entre les enfants nés à terme et les enfants prématurés avec des réponses comportementales moindres et des réponses cardiaques non significatives suite à une stimulation tactile au bas de l'abdomen. Cela ne signifie pas forcément que les enfants prématurés traiteraient moins bien ces informations tactiles, mais plutôt que leur système cardio-vasculaire et dans une moindre mesure leur système moteur, serait encore trop immature et désorganisé pour renseigner sur cette aptitude. Notons aussi que ces auteurs n'ont pas ou peu contrôlé les antécédents médicaux des prématurés ni les états d'éveils de tous les enfants, facteurs pouvant influencer les réponses d'habituation.

Plus récemment, Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002) ont cherché à caractériser la maturation de la sensibilité tactile en utilisant une procédure d'habituation / déshabituation chez les nouveau-nés prématurés et nés à terme entre 30 et 40 SA peu après la naissance. Quatre groupes d'enfants sont constitués en fonction de leur âge post-conceptionnel : 12 enfants entre 29 et 31 SA âgés de 6 jours (nés à 29+4 SA), 12 enfants entre 32 et 34 SA âgés de 2 jours (nés à 32+6 SA), 12 enfants entre 35 et 37 âgés de 3 jours (nés à 35+1 SA) et 13 enfants entre 38 et 41 SA âgés de 1 jour (nés à 40 SA). Lors de la phase d'habituation, l'expérimentateur applique une caresse durant 4 secondes sur l'avant bras de l'enfant pendant huit essais, avec un intervalle de 30 secondes entre chaque essai. Puis, l'expérimentateur applique deux fois pendant 4 secondes un nouveau stimulus où il saisit le poignet de l'enfant et soulève son bras. Enfin, le stimulus familier est à nouveau

présenté deux fois pendant 4 secondes. La situation contrôle consiste à n'appliquer aucune stimulation et ainsi permet de renseigner sur un état basal comportemental et physiologique. Les réponses cardiaques et comportementales (mouvements du corps) sont enregistrées en phase de sommeil agité. Les résultats révèlent une maturation des réponses entre 30 et 40 SA avec une augmentation graduelle dans l'ampleur de l'accélération cardiaque provoquée par le stimulus ainsi qu'une augmentation de la corrélation des réponses cardiaques et comportementales. Cela met bien en évidence une maturation progressive des systèmes physiologique et moteur au cours du développement en réponse à une stimulation tactile. La majorité des enfants prématurés et nés à terme présentent une accélération cardiaque et motrice suite à la présentation initiale du stimulus, puis une diminution des deux types de réponses lorsque la stimulation est répétée indiquant que les enfants se sont habitués. Cependant, un nombre important d'enfants (40 %) ne présentent pas de réponses cardiaque et motrice immédiate suite à la présentation initiale du stimulus tactile, mais commencent à en manifester seulement après quelques essais (Figure 11). Ces enfants-là (les non-répondeurs) échouent lors de la phase de discrimination du nouveau stimulus, contrairement aux autres enfants (les répondeurs) qui réagissent à la présentation du nouveau stimulus. Les auteurs interprètent ces différences quel que soit le groupe d'âge comme étant le reflet de différences individuelles lors de la perception d'une stimulation tactile. Néanmoins, à notre connaissance, ces résultats sont les premiers à mettre en évidence une habituation et une discrimination tactile suite à une stimulation tactile passive chez les enfants prématurés dès 30 SA.

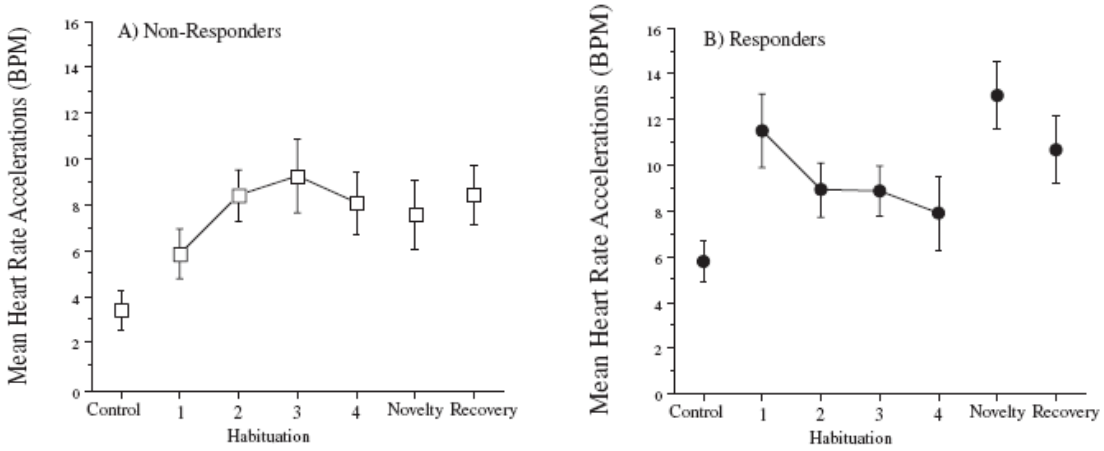

Figure 11 ***Moyennes des pics d'accélérations cardiaques en fonction des essais contrôle, d'habituation, de nouveauté et de reconnaissance pour les non répondeurs (A) et les répondeurs (B) et erreurs standards. Figure issue de Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002)***

Les données qui évaluent les aptitudes des prématurés à répondre comportementalement et physiologiquement à une stimulation tactile passive ont révélé des différences avec les enfants nés à terme. Mais cela est-il dû à une moindre capacité de l'enfant prématuré à traiter l'information tactile ou seulement à une immaturité des systèmes qui sous-tendent ses réponses physiologiques et comportementales ? Pour répondre à cette question, nous allons maintenant nous intéresser aux activations cérébrales induites pas des stimulations tactiles afin de déterminer si de telles différences se retrouvent entre les deux populations.

2.3.1.2. Fonctionnement du cortex somatosensoriel chez le prématuré

Le cortex somatosensoriel est le premier niveau d'intégration corticale de la stimulation tactile, c'est pourquoi nous allons mentionner plusieurs études qui visent à démontrer son activation lors de différents types de stimulations tactiles impliquant ou non une composante kinesthésique chez des enfants prématurés sans lésion cérébrale associée. Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz et Anand (2006) ont appliqué une stimulation tactile standard consistant à désinfecter le dessus de la main de 40 enfants prématurés âgés de 25 à 42 heures (nés entre 28 et 36 SA) et ils ont enregistré les modifications métaboliques associées à cette stimulation en utilisant la NIRS. Des modifications métaboliques significatives ont été relevées au niveau du cortex somatosensoriel dès 28 SA. Une autre étude a comparé les activations du cortex somatosensoriel suite à une stimulation de l'index gauche en phase de sommeil profond chez 16 enfants prématurés âgés de 40+4 SA (nés entre 24+1 et 27+6 SA) et 16 enfants nés à terme âgés de 1 à 6 jours (Nevalainen et al., 2008) en utilisant la magnétoencéphalographie (MEG)[13]. Les résultats indiquent une activation du cortex somatosensoriel primaire chez les enfants prématurés ayant atteint leur terme normal. De plus, la morphologie générale de la réponse enregistrée est identique entre les enfants prématurés et ceux nés à terme. Ils n'observent pas de différence de latence, ce qui signifie qu'il n'y a pas de retard de conduction neuronale. Ils notent toutefois une faiblesse dans le signal de la première onde enregistrée à 60 millisecondes chez les enfants prématurés. La force du signal étant associée à la synchronie et au nombre de neurones activés, les auteurs postulent que ce phénomène refléterait une différence de fonctionnement du cortex somatosensoriel primaire entre les deux populations. Certaines études ont aussi montré des activations du cortex somatosensoriel en faisant intervenir une composante

[13] La magnétoencéphalographie (*MEG*) est une technique de mesure des champs magnétiques induits par l'activité électrique des neurones du cerveau.

tactile mais aussi kinesthésique. C'est ainsi que Milh et ses collaborateurs (2007) ont mis en évidence qu'un mouvement spontané de la main ou du pied provoquant un feedback sensoriel chez 13 prématurés âgés de 3 à 7 jours (nés entre 29 à 31 SA), déclenche une activité EEG au niveau du cortex somatosensoriel. Plus récemment, Arichi et ses collaborateurs (2010) ont voulu identifier l'activation d'un signal BOLD enregistré par IRMf en utilisant une stimulation tactile et kinesthésique synchronisée chez 11 enfants prématurés âgés de 33+4 SA (nés vers 30 SA), 18 enfants prématurés âgés de 42 SA (nés vers 31 SA) et 6 enfants nés à terme et âgés de 2-3 jours. Pour cela, les auteurs introduisent un ballon dans la main de l'enfant qui va se gonfler et se dégonfler régulièrement impliquant des mouvements de flexion et d'extension de la main. Des activations du cortex somatosensoriel controlatéral à la stimulation se retrouvent chez la majorité des enfants. Néanmoins, les auteurs notent une « tendance » d'activation bilatérale et complexe chez les enfants prématurés ayant atteint leur terme normal, « tendance » qu'ils n'expliquent pas pour autant dans leur discussion. Dans l'ensemble, ces études, aussi différentes soient-elles, mettent en exergue une activation du cortex somatosensoriel après stimulation tactile qui est similaire chez les enfants prématurés et les enfants nés à terme ayant le même âge post-conceptionnel. Cela rend compte d'une maturation équivalente du cortex somatosensoriel que la prématurité n'aurait pas entravée.

Tzarouchi et ses collaborateurs (2009) ont montré que l'ordre développemental des structures cérébrales était respecté chez l'enfant prématuré. De manière plus spécifique, l'enregistrement de potentiels évoqués somesthésiques a permis d'étudier longitudinalement la réponse du cortex somatosensoriel lors d'une stimulation du nerf médian chez 22 enfants prématurés nés entre 27 et 32 SA (Taylor, Boor, & Ekert, 1996) et chez 35 enfants prématurés âgés de 28 et 36 SA et 11 enfants nés à terme (Tombini et al., 2009), tous étant testés pour la première fois lors de leurs 2 premières semaines de vie et / ou au terme normal. Ces études révèlent des changements rapides des potentiels évoqués proportionnel à l'âge post-conceptionnel. En effet, une corrélation négative entre la latence de la première onde enregistrée (N1) et l'âge post-conceptionnel est mise en évidence : plus l'âge post-conceptionnel est important, plus la latence de N1 est courte. Chez les enfants prématurés ayant atteint le terme normal, il n'existe plus de différence de latence avec les enfants nés à terme. Par conséquent, l'expérience extra-utérine des enfants prématurés n'influencerait pas la maturation du cortex somatosensoriel. A noter qu'il y aurait une influence négative du syndrome de détresse respiratoire (RDS), syndrome dont sont souvent atteints les enfants prématurés, sur la maturation du cortex somatosensoriel (Tombini et al., 2009).

Ces résultats peuvent paraître surprenants. En effet, on aurait pu s'attendre à obtenir des résultats différents entre les deux populations dans la mesure où nous avions présenté le phénomène d'allodynie chez les enfants prématurés : stimulation tactile habituellement non douloureuse qui va se révéler douloureuse (Fitzgerald, Millard, & McIntosh, 1989; Hellerud & Storm, 2002; Holsti, Grunau, Oberlander, Whitfield, & Weinberg, 2005). Cependant, les stimulations tactiles utilisées dans ces expériences ne sont pas du même type, ce sont des procédures de routine, telles que changer les draps ou prendre la température. Ces procédures de routine induisent des réactions de stress, aussi bien physiologiques que comportementales, similaires à celles des stimulations douloureuses. Mais les réponses enregistrées au niveau cérébral diffèrent entre les deux types de stimuli (Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz, & Anand, 2006), l'activation au niveau du cortex somatosensoriel est beaucoup plus importante lors d'une stimulation douloureuse. Malgré un phénomène d'allodynie enregistré au niveau physiologique et comportemental lors de procédures de routine impliquant un grand nombre de stimulations tactiles, cela ne semble pas avoir de répercussion au niveau cérébral contrairement aux modifications engendrées par les procédures douloureuses à répétition (Anand & Scalzo, 2000).

2.3.2. Perception manuelle des propriétés de l'objet chez l'enfant prématuré : que savons-nous ?

A notre connaissance, le traitement haptique manuel des propriétés de l'objet n'a jamais été étudié indépendamment de l'aspect visuel chez l'enfant prématuré. Deux grands types d'études intègrent le traitement manuel des objets : celles portant sur les comportements d'atteinte (reaching), de saisie (grasping) et d'exploration des objets sous contrôle visuel et celles étudiant le transfert intermodal entre la vision et le toucher. Sans faire une description exhaustive, nous allons rapidement présenter les principaux résultats de ces différentes études chez les enfants prématurés.

Les comportements coordonnés d'atteinte, de saisie et d'exploration des objets sous contrôle visuel se mettent en place et commencent à être étudiés chez des enfants âgés de 3-4 mois. Entre 5 et 7 mois, la réussite de saisie de l'objet augmente chez les enfants prématurés et nés à terme. A 6 et 7 mois, les enfants prématurés effectuent des mouvements plus lents et des ajustements plus importants comparés à ceux des enfants nés à terme. Ces comportements seraient en fait des stratégies fonctionnelles mises en place chez les enfants prématurés pour atteindre leur but final, c'est-à-dire saisir l'objet (Toledo & Tudella, 2008).

De plus, lors de comportement d'exploration d'objets, les enfants prématurés âgés de 8 mois explorent plus longtemps un objet familier et donc présentent une moins grande préférence pour l'objet nouveau comparés aux enfants nés à terme. Ainsi, les enfants prématurés auraient besoin de plus de temps pour se familiariser avec un objet que les enfants à terme (Sigman, 1976). Enfin, Ruff, McCarton, Kurtzberg et Vaughan (1984) ont comparé les comportements spécifiques d'exploration chez 30 enfants prématurés (nés à 31+3 SA) et 20 enfants nés à terme tous âgés de 9 mois (âge corrigé pour les prématurés). Les comportements les plus courants consistent à palper la surface des objets du bout des doigts, le faire tourner et / ou le transférer d'une main à l'autre. Les résultats ne montrent aucune différence entre les deux populations. Cependant, quand les auteurs divisent leur population de prématurés en groupes à haut et à bas risque (développemental), des différences apparaissent. Les enfants prématurés à haut risque manipulent moins les objets que les deux autres groupes. Ces résultats suggèrent qu'il existerait un lien entre les comportements exploratoires des objets et le développement cognitif, où une moindre manipulation serait révélatrice de déficits cognitifs.

Le transfert intermodal des informations de forme de l'objet du toucher à la vision a été étudié chez les enfants prématurés de 7 et 12 mois. A l'âge de 7 mois, après une familiarisation tactile de 60 secondes, les enfants prématurés et nés à terme présentent une discrimination visuelle avec une préférence pour l'objet familier (Rose, Feldman, McCarton, & Wolfson, 1988). A l'âge de 12 mois, seuls les enfants nés à terme (et appartenant à la classe moyenne) discriminent les objets entre les 2 modalités avec une préférence pour l'objet nouveau, cependant la phase de familiarisation n'est que de 30 secondes (Rose, Gottfried, & Bridger, 1978). Plus récemment, le transfert intermodal toucher-vision a été intégré dans une batterie de tests. Cette batterie de tests évalue l'attention, la vitesse de traitement, la reconnaissance, le rappel et la compétence de représentation, cette dernière étant le transfert intermodal. Elle a été utilisée chez des enfants de 7 mois (Rose, Feldman, Jankowski, & Van Rossem, 2005) et 12 mois (Rose, Feldman, Jankowski, & Van Rossem, 2008) et les résultats ont été comparés à leurs évaluations cognitives (Bayley scales of infant development) à l'âge de 2-3 ans. Les résultats suggèrent qu'un déficit du traitement d'informations chez les enfants prématurés serait prédictif de troubles cognitifs futurs.

De manière assez surprenante, dans les études portant sur le transfert intermodal toucher-vision, les conditions contrôles intra-modales sont systématiquement faites dans la modalité visuelle. A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée au traitement haptique manuel des propriétés de l'objet sans contrôle de la vision chez les enfants prématurés.

2.3.3. Objectifs de la thèse et hypothèses

L'enfant prématuré vit dans un monde sensoriel atypique, loin de celui dans lequel il aurait dû rester quelques semaines supplémentaires. L'intérêt porté aux caractéristiques de l'environnement de l'enfant prématuré, fondamentalement préjudiciables à son développement, est assez récent. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les stimulations sensorielles influencent la structure et le fonctionnement du système nerveux central des enfants prématurés ainsi que leur comportement. Les enfants prématurés reçoivent des stimulations inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral. Nous avons vu dans le premier chapitre, notamment à travers les soins du développement, que la modalité tactile semble être une modalité clé chez les enfants prématurés. Cependant, le second chapitre a mis en exergue le peu d'études faites sur la modalité tactile dans cette population. Dans ce travail de thèse, nous allons nous intéresser à la modalité tactile chez les enfants prématurés et de manière plus spécifique au traitement haptique manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision. A l'heure actuelle, ce champ de recherche chez les enfants prématurés reste inexploré.

Dans un premier temps, nous présenterons une étude, qui nous a servi d'étude pilote, sur les compétences (intra-main) d'habituation et de réaction à la nouveauté tactile manuelle, selon la propriété de forme des objets, sans contrôle visuel chez une population d'enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA (étude 1). L'objectif principal de cette expérience est d'étudier la capacité des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets grâce à une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel. Si après présentations successives d'un même objet, les enfants prématurés prélèvent de l'information avec leurs mains, une diminution du temps de tenue devrait être observée, indiquant un processus d'habituation. De plus, nous nous attendons à ce que les enfants discriminent le nouvel objet du familier. Enfin, afin d'examiner si ces capacités de perception manuelle sont qualitativement et / ou quantitativement différentes entre les nouveau-nés prématurés et les nouveau-nés à terme, les données de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000) seront comparées avec nos données,

Ensuite, nous nous intéresserons à l'évolution de ces compétences tactiles manuelles en fonction du niveau de prématurité (étude 2). L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet du degré de prématurité sur le traitement intra-main de la forme des objets. Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier les compétences d'habituation, de réaction à la

nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence (suite à la présentation du nouvel objet) chez trois grands groupes de prématurité : la grande (< 32 SA), la moyenne (32-34 SA) et la petite prématurité (> 34 SA). Si les mêmes compétences sont mises en évidence dans chacun des groupes d'âge, nous comparerons les performances de chacun dans une analyse transversale afin d'étudier l'influence du degré de prématurité d'un point de vue quantitatif. De plus, nous souhaitons suivre longitudinalement les enfants dans les trois groupes de prématurité afin de vérifier qu'il n'existe pas de mémoire haptique à long terme chez ces enfants. Les études faites en neuroimagerie révèlent l'existence d'une intégration centrale des informations tactiles chez les nouveau-nés prématurés dès 28 SA. (Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz, & Anand, 2006) ainsi qu'une activation corticale somatosensorielle lors de mouvements de la main dès 29 SA (Milh et al., 2007), ce qui suggère que les enfants prématurés auraient un sens du toucher relativement mature dès 28 SA permettant des compétences tactiles manuelles précoces.

Enfin, nous présenterons une étude traitant du transfert inter-main chez des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA (étude 3). L'objectif principal de cette expérience est d'étudier la capacité des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme d'objet avec une main et détecter une différence de forme avec l'autre main. Tout d'abord, nous nous attendons à confirmer les résultats de l'étude 1 en observant une habituation tactile manuelle chez les nouveau-nés prématurés entre 33 et 34+6 SA. De plus, après habituation, si les enfants sont en mesure de transférer des informations sur la forme des objets, nous nous attendons à obtenir une différence significative du temps de tenue entre l'objet nouveau et l'objet familier dans la main opposée à celle de l'habituation.

Encadré 2 : résumé du chapitre 2

La perception manuelle tactilo-kinesthésique ou haptique résulte de l'association de la perception purement cutanée et de la perception kinesthésique. Tout objet manipulé tactilement peut être reconnu et classé sur la base des différentes propriétés qui le constituent. Chaque propriété contient donc un certain nombre de valeurs de propriétés et ces propriétés sont elles-mêmes regroupées sous le concept plus général de dimension : la dimension géométrique (forme, taille) et la dimension matérielle (texture, température, substance, poids). Les données en neuroimagerie chez l'adulte suggèrent que les propriétés macrogéométriques et les propriétés microgéométriques seraient traitées différemment lors de tâches haptiques. L'identification chez l'adulte de procédures manuelles exploratoires spécifiques pour détecter les propriétés de l'objet vient renforcer ce constat.

Déjà présent in utero, le réflexe de grasping en réponse à une stimulation de la paume de la main est considéré comme un comportement important du nouveau-né favorisant l'interaction avec son environnement. Des compétences haptiques manuelles ont été mises en évidence dès la naissance grâce notamment à la méthode d'habituation / réaction à la nouveauté. En effet, le nouveau-né à terme est capable d'habituation et de discrimination tactiles manuelles de différentes propriétés de l'objet (texture, substance, poids, forme). Bien qu'il ne soit pas capable d'effectuer des mouvements manuels précis, son activité manuelle qui consiste en une ouverture / fermeture de la main, constituerait une exploration suffisante de l'objet pour encoder, traiter et stocker en mémoire des informations sur plusieurs propriétés de l'objet.

Alors que les données comportementales et physiologiques suite à une stimulation tactile passive révèlent des retards chez les enfants prématurés comparés aux enfants nés à terme, les données en neuroimagerie indiquent une activation similaire du cortex somatosensoriel. Néanmoins, la perception tactile manuelle (toucher actif) des nouveau-nés prématurés reste peu connue. Le rôle du toucher actif est essentiel à la prise d'informations pour obtenir une meilleure perception des propriétés des objets, telles que des informations sur la forme. Dans ce travail de thèse composé de trois études, nous allons nous intéresser à la modalité tactile chez les enfants prématurés et de manière plus spécifique au traitement haptique manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE 3 METHODOLOGIE GENERALE

Ce travail de thèse s'intéresse à la capacité des enfants prématurés à percevoir et discriminer des formes d'objets manuellement. Nous allons maintenant détailler les trois grandes études s'intéressant à la perception manuelle de la forme des objets chez les enfants prématurés en période néonatale.

Dans cette section, nous présenterons la méthodologie commune à toutes les études. Les spécificités de chacune seront détaillées dans leurs parties respectives.

3.1. CONDITIONS EXPERIMENTALES

3.1.1. Participants : critères d'exclusion

Nous avons étudié une population de nouveau-nés prématurés, hospitalisés au CHU de Grenoble en réanimation et médecine néonatale de mars 2008 à juillet 2010. Tous les nouveau-nés prématurés présentant un syndrome polymalformatif, une échographie transfontanellaire anormale avec une hémorragie intra-ventriculaire (HIV) de stade III ou IV ou une leucomalacie périventriculaire cavitaire, une absence de réflexe de grasping ou bénéficiant d'un traitement sédatif ou anticonvulsivant au moment de l'expérience ont été exclus de nos études.

3.1.2. Stimuli

Un cylindre et un prisme ont été utilisés en tant que stimuli. Ces formes géométriques ont été choisies car elles provoquent facilement le réflexe de grasping et sont parfaitement discriminés par les mains des nouveau-nés (Streri, Lhote, & Dutilleul, 2000). Le cylindre mesurait 35 mm de long et 6 mm de diamètre. La longueur du prisme était de 35 mm et ses côtés mesuraient 9 x 6 x 6 mm (Figure 12).

a. b.

Figure 12. ***Enfants prématurés tenant un cylindre (a) et un prisme (b). Photographies de F. Audéoud***

3.1.3. Conditions de passation

Ces travaux de thèse ont été entièrement réalisés dans le service de réanimation et médecine néonatale de Grenoble. Cependant, le service a déménagé en septembre 2009, passant d'un service avec un espace ouvert (service 1) réunissant dans une seule pièce douze incubateurs et l'espace de travail des soignants, à un service à espace clos (service 2) comprenant des chambres individuelles ou doubles. Le contrôle des stimulations sensorielles extérieures, notamment le bruit et la lumière, n'a pu être que très limité dans le service 1.

Un consentement éclairé, expliquant l'intérêt de l'étude et le déroulement de l'expérience, était signé par les parents. Certaines conditions devaient être respectées pour débuter les expériences. Le nouveau-né était testé dans son incubateur, juste avant ou à distance d'une alimentation (au minimum 1h après), en état d'éveil calme (stade 4 de l'échelle de Brazelton) (Brazelton & Nugent, 1995). Une bonne évaluation du stade d'éveil de l'enfant est capitale avant de débuter le test, en particulier pour ne pas conclure à tort à une absence d'habituation à l'objet. Afin d'éviter d'éventuelles interférences avec notre expérience, de s'assurer que l'enfant était dans un environnement propice à l'exploration active des objets proposés et de limiter le stress induit par l'environnement, les autres stimulations sensorielles étaient au maximum réduites, en particulier dans le service 2. L'avant-bras du nouveau-né était soutenu par l'expérimentateur pour lutter contre l'hypotonie. L'objet ne pouvait être vu par l'enfant afin d'éviter toute interférence visuelle. Pour cela, l'expérimentateur positionnait la tête de l'enfant prématuré du côté opposé à la main testée. Si l'enfant prématuré tournait la tête du côté testé au cours de l'expérience, l'expérimentateur plaçait alors sa main entre les yeux de l'enfant et la main testée pour faire écran. L'expérience était filmée dans sa totalité, pour permettre dans un deuxième temps de vérifier les temps de tenue enregistrés sur place.

Deux expérimentateurs étaient systématiquement présents pour chaque expérience. Un expérimentateur 1 (pédiatre) installait le nouveau-né dans une position bien définie au sein de son incubateur et ceci pour toute la durée de l'expérience[14]. Ce dernier présentait les stimuli à l'enfant, tout en soutenant l'avant-bras du bébé. Un expérimentateur 2 (psychologue) enregistrait les temps de tenue des objets avec un ordinateur de poche qui permettait de calculer le taux d'habituation des bébés au fur et à mesure des essais. Les deux expérimentateurs évaluaient ensemble l'état d'éveil de l'enfant tout au long de l'expérience. Si l'enfant était considéré par les deux expérimentateurs comme étant trop agité ou trop endormi, l'expérience était arrêtée et remise à plus tard, lorsque cela était possible. Le stade d'éveil d'un prématuré peut être difficile à évaluer en l'absence de formation à l'observation attentive du nouveau-né, c'est pourquoi seules deux pédiatres et une même psychologue étaient préposées à la réalisation des expériences. L'expérience se déroulait en deux temps : la phase d'habituation, puis la phase test pour les enfants habitués.

3.2. LES DEUX PHASES EXPERIMENTALES

3.2.1. Choix de la procédure

Nous avons choisi d'utiliser la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté dans la modalité tactile sans contrôle de la vision, comme l'ont fait Streri, Lhote et Dutilleul (2000) chez le nouveau-né à terme âgé de 48 heures. Cette procédure se déroule en deux phases et repose sur l'observation des comportements naturels de l'enfant. Lors de la première phase, si l'enfant se familiarise ou s'habitue à un objet, il s'en désintéressera progressivement en le tenant de moins en moins longtemps. Au cours de la seconde phase, lors de la présentation d'un nouvel objet, si l'enfant perçoit la différence entre ce nouvel objet et l'ancien, un regain d'intérêt pour le nouvel objet sera observé, sous la forme d'un temps de tenue plus long.

Pour la première phase, la familiarisation à essais ou durées fixes est souvent utilisée. Cette méthode possède néanmoins l'inconvénient de ne pas s'adapter à la vitesse de traitement de l'objet de chaque enfant. Par exemple, dans certaines expériences comparant

[14] L'installation de l'enfant sera différente selon les études, elle sera donc présentée dans la description individuelle des études

les performances d'habituation entre les enfants nés à terme et les prématurés, nous avons vu que les enfants prématurés avaient besoin de plus de temps pour s'habituer à un objet. C'est pourquoi, l'habituation contrôlée par le bébé a été préférée. Dans un tel cas, la durée d'habituation et le nombre d'essais varient pour chaque enfant, s'adaptant ainsi à sa vitesse de traitement de l'information. L'objet est présenté plusieurs fois à l'enfant jusqu'à ce qu'un critère d'habituation soit atteint. Dans la partie théorique nous avons présenté de nombreuses expériences qui utilisaient des critères d'habituation différents. Nous avons choisi le critère d'habituation utilisé par Streri, Lhote et Dutilleul (2000) et par Sann et Streri (2008). En effet, ces auteurs ont respectivement étudié le traitement intra-main et le transfert inter-main de la forme des objets chez les nouveau-nés à terme. Ce critère a été retenu dans la mesure où nous souhaitions reproduire leurs études chez les enfants prématurés. Ainsi, on considèrera qu'un enfant est habitué quand la somme des durées de deux essais consécutifs sera inférieure ou égale au tiers de la somme des durées des deux premiers essais.

3.2.2. Phase d'habituation

Cette phase consistait en la présentation répétée, par essais successifs, d'un objet (prisme ou cylindre) dans une main de l'enfant en phase d'éveil calme. La moitié des bébés était habituée avec le prisme et l'autre moitié avec le cylindre, la répartition était faite de manière aléatoire. Selon les études, nous avons présenté l'objet soit systématiquement dans la main gauche (étude 2), soit dans la main droite pour la moitié de l'effectif et dans la main gauche pour l'autre moitié (études 1 et 3)[15].

L'objet était placé dans la main du bébé par l'expérimentateur 1. Le premier essai pouvait alors commencer. Quand l'enfant tenait seul l'objet, l'expérimentateur 2 commençait à enregistrer le temps de tenue de l'objet. Quand l'enfant relâchait l'objet, l'expérimentateur 2 arrêtait l'enregistrement du temps, marquant ainsi la fin d'un essai. L'expérimentateur 1 présentait à nouveau le même objet à l'enfant. La durée minimum d'un essai était de 1 seconde et la durée maximum était de 60 secondes. Au bout de 60 secondes, l'objet était retiré de la main de l'enfant et lui était reproposé. Si le critère d'habituation précédemment défini était atteint, l'enfant était considéré comme habitué à l'objet. Si ce critère d'habituation n'était pas atteint après douze essais, l'expérience était arrêtée et l'enfant était considéré comme non habitué.

[15] Nous justifierons ce choix lors de la présentation individuelle des études

3.2.3. Phase test

Lorsque le nouveau-né était habitué à un objet, la phase test commençait immédiatement après, dans les mêmes conditions expérimentales que la phase d'habituation. La main testée dans la phase test était la même que celle de l'habituation dans les études 1 et 2 et était la main opposée à celle de l'habituation dans l'étude 3. Pour chacune des études, la nature des objets (nouveau et familier) présentés, le nombre d'essais et l'ordre de présentation variaient. C'est pourquoi, nous détaillerons le déroulement de la phase test dans la description individuelle des études.

3.3. RECUEIL DE DONNEES

Lors de la phase d'habituation, nous avons mesuré trois paramètres de performances d'habituation : la durée moyenne d'exploration totale de l'objet (temps d'exploration), le temps de tenue moyen des deux premiers essais et le nombre moyen d'essais nécessaires pour obtenir une habituation. Le temps de tenue moyen des deux derniers essais était mesuré afin d'évaluer si le critère d'habituation était atteint et afin de mesurer les performances de discrimination lors de la seconde phase. Lors de la phase test, nous avons mesuré un paramètre de performance : le temps moyen de deux essais consécutifs de même nature (familier ou nouveau). Les temps de tenue étaient vérifiés *a posteriori* à partir de la vidéo enregistrée. Les temps de tenue enregistrés sur place (sur l'ordinateur de poche) et ceux relevés à partir de la vidéo étaient comparés. La fiabilité de ces deux données était évaluée grâce à une corrélation de Bravais-Pearson. La fiabilité inter-observation étant haute, les analyses de données ont été effectuées à partir de la moyenne de ces deux mesures.

De plus, nous avons recueilli les caractéristiques générales de chaque enfant prématuré, en particulier l'âge gestationnel, l'âge post-conceptionnel et l'âge post-natal ainsi que le poids de naissance et le poids le jour du test.

CHAPITRE 4. TRAITEMENT INTRA-MAIN DE LA FORME DES OBJETS CHEZ LES ENFANTS PREMATURES AGES DE *33* A *34+6* SA ET COMPARAISON AVEC LES NOUVEAU-NES A TERME (étude 1)

Cette étude a fait l'objet d'un article : Lejeune, F., Audeoud, F., Marcus, L., Streri, A., Debillon, T., & 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. doi:10.1371/journal.pone.0009108.

Cette recherche s'intéressait au traitement intra-main de la forme des objets chez les enfants prématurés. De récentes études révèlent que le grasping n'est pas un simple réflexe à la naissance. En effet, les nouveau-nés à terme, dès 48 heures de vie, sont capables de distinguer différentes propriétés d'objets avec leurs mains, à savoir le poids (Hernandez-Reif, Field, Diego, & Largie, 2001; Molina, Guimpel, & Jouen, 2006), la texture (Molina & Jouen, 1998, 2004) et la substance (Rochat, 1987). Grâce à une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté (sans contrôle visuel), Streri, Lhote et Dutilleul (2000) montrent que les nouveau-nés sont capables de mémoriser des informations tactiles de forme (prisme ou cylindre) et de détecter les différences entre ces deux formes, que ce soit avec la main droite ou avec la main gauche.

Les études concernant le toucher chez les enfants prématurés traitent essentiellement de la douleur et des soins de développement. Ainsi, nous avons vu que les réponses à la douleur des nouveau-nés prématurés sont influencées par le nombre de procédures douloureuses qu'ils subissent (Johnston & Stevens, 1996). Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz et Anand (2006) ont montré que des stimuli tactiles douloureux ou non activent spécifiquement des aires corticales somatosensorielles chez les enfants prématurés nés entre 28 et 36 SA et testés à 2 jours de vie. Ce résultat implique l'existence d'une intégration centrale des informations tactiles chez les nouveau-nés prématurés dès 28 SA. De plus, une activation corticale somatosensorielle lors de mouvements de la main a été mise en évidence chez les nouveau-nés prématurés dès 29 SA (Milh et al., 2007). Kostovic et Jovanov-Milosevic (2006) ont montré que l'organisation des connexions cérébrales chez l'enfant prématuré est substantiellement différente de celle des nouveau-nés à terme, révélant l'immaturité du cerveau du prématuré et donc sa vulnérabilité. C'est pourquoi, les soins de

développement ont été élaborés. Une intervention précoce pourrait influer sur les capacités tactiles des nouveau-nés prématurés. Des études ont comparé la sensibilité tactile (toucher passif) chez les nouveau-nés prématurés et nés à terme. Ces études ont montré que les nouveau-nés à terme et prématurés diffèrent dans leurs réponses comportementales et cardiaques suite à une stimulation tactile (Rose, Schmidt, & Bridger, 1976). Cependant, une intervention tactile précoce (prémices de la thérapie par le massage) semble réduire cet écart entre les deux populations, démontrant ainsi que ce type d'expérience précoce a des effets bénéfiques sur développement des nouveau-nés prématurés (Rose, Schmidt, Riese, & Bridger, 1980).

Néanmoins, la perception tactile manuelle (toucher actif) des nouveau-nés prématurés reste peu connue. Le rôle du toucher actif est essentiel à la prise d'informations pour obtenir une meilleure perception des propriétés des objets, telles que des informations sur la forme. L'ensemble de ces données neurologiques et comportementales suggèrent que les bébés prématurés pourraient déjà avoir un sens du toucher relativement mature à la naissance et par conséquent, la capacité de percevoir des formes différentes avec chaque main.

4.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE

L'objectif principal de cette expérience était d'étudier la capacité des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets. Nous avons réalisé une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel. Si après présentations successives d'un même objet, les enfants prématurés prélevaient de l'information avec leurs mains, une diminution du temps de tenue devrait être observée, indiquant un processus d'habituation. De plus, nous nous attendions à ce que les enfants discriminent le nouvel objet du familier. Enfin, les données de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000) ont été comparées avec nos données, afin d'examiner si ces capacités de perception manuelle sont qualitativement et / ou quantitativement différentes entre les nouveau-nés prématurés et les nouveau-nés à terme.

4.2. METHODE

4.2.1. Participants

Vingt-quatre enfants prématurés (14 filles et 10 garçons) ont participé à l'expérience. À la naissance, l'âge gestationnel moyen était de 30 semaines et 6 jours (de 26+3 à 34 SA) et le poids moyen était de 1498 g. (de 680 à 2723 g.). Etant la première expérience du genre chez les enfants prématurés, pour évaluer leurs compétences tactiles manuelles, nous avons choisi une tranche d'âge post-conceptionnel où les enfants sont moins à risque et plus nombreux : entre 33 et 34+6 SA. Le jour de l'expérience, la moyenne d'âge post-conceptionnel était de 33+5 SA, la moyenne d'âge post-natal était de 20 jours (de 3 à 50 jours) et le poids moyen était de 1670 g. (de 1000 à 2590 g.).

Nous avons recueilli pour chaque enfant prématuré huit caractéristiques de leurs antécédents médicaux afin de vérifier qu'elles n'affectent pas les performances des enfants prématurés lors des phases d'habituation et de test : (1) la gémellité, (2) le mode d'accouchement, (3) la corticothérapie anténatale, (4) la trophicité, (5) la nécessité d'une intubation, (6) d'une CPAP ou (7) d'une oxygénothérapie aux lunettes. Le jour du test, (8) la présence ou non d'une prothèse sur le bras (cathéter, voie veineuse périphérique) était relevée. Le Tableau 4 présente les principaux résultats des paramètres de performances pendant les deux phases en fonction des antécédents médicaux.

Des tests t de Student ont été effectués pour comparer les performances des enfants prématurés, pour chaque caractéristique médicale (8) et pour chaque paramètre mesuré pendant le test (4). En raison du nombre important de comparaisons (N = 32), une correction de Bonferroni a été adoptée (α = 0,05 / 32 = 0,001). Aucune différence significative n'était observée entre ces valeurs (tous les p > 0,025). Ainsi, les antécédents médicaux des enfants prématurés n'auraient pas influencé les performances mesurées au cours de la phase d'habituation et de la phase de test.

			Habituation			Test
Caractéristique	Sous-catégorie	N	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre d'essais	Temps de tenue moyen (sec.)
Mode d'accouchement	césarienne	11	78,2 (34,8)	61,1 (35,8)	4,8 (1,1)	11,9 (10,3)
	voies basses	13	81,3 (58,2)	53,4 (26,8)	4,3 (0,6)	17,6 (11,8)
Gémellité	oui	11	72,3 (43)	57,1 (34,3)	4,4 (0,7)	15,9 (9,6)
	non	13	86,3 (52,6)	58 (30,5)	4,7 (1)	14,2 (12,8)
Corticothérapie Anténatale	oui	21	84,6 (48,7)	60,1 (32)	4,6 (0,9)	15,2 (11,4)
	non	3	46,8 (27,9)	40,4 (26,5)	4 (0)	14 (12,6)
Hypotrophie	oui	4	71,3 (38,3)	48,1 (17,4)	4,5 (0,6)	8,4 (5,1)
	non	20	81,6 (50,3)	59,5 (33,7)	4,6 (0,9)	16,3 (11,8)
Intubation	oui	11	93,9 (60,1)	71,5 (38,6)	4,5 (0,8)	20,3 (12,6)
	non	13	68 (32,5)	45,9 (18,4)	4,6 (1)	10,6 (8,1)
CPAP	oui	19	85,3 (50)	60,8 (33)	4,6 (1)	15,4 (12,1)
	non	5	59 (35,7)	45,5 (24,5)	4,2 (0,4)	13,7 (8,2)
Lunettes à Oxygène	oui	11	79,9 (43,6)	64,3 (36,3)	4,4 (0,7)	15,9 (11,3)
	non	13	79,8 (53)	51,9 (27,1)	4,7 (1)	14,2 (11,7)
Cathéter (côté non testé)	oui	16	86,3 (52,5)	60,6 (31,5)	4,6 (0,8)	17,3 (10,7)
	non	8	67,1 (37)	51,5 (32,9)	4,4 (1,1)	10,4 (11,2)

Tableau 4 ***Temps de tenue total, temps de tenue des 2 premiers essais, nombre moyen d'essais lors de la phase d'habituation et temps de tenue moyen de 2 essais consécutifs lors de la phase test (moyennes (écart-types)) en fonction des 8 caractéristiques des antécédents médicaux [étude 1]***

4.2.2. Procédure

La procédure et ses conditions de passation ont été précédemment décrites dans le *Chapitre 1. Méthodologie générale.* Néanmoins, nous allons apporter quelques précisions méthodologiques spécifiques à cette étude. **Avant de commencer l'expérience**, l'expérimentateur 1 installait l'enfant prématuré en remontant l'enfant dans son cocon pour surélever légèrement sa tête (Figure 13).

Figure 13 ***Installation de l'enfant prématuré pour les études 1 et 2***

Lors de la phase d'habituation, l'une des deux formes d'objets était présentée à la moitié des enfants dans la main droite (N = 12) et à l'autre moitié dans la main gauche (N = 12). Ainsi, deux groupes ont été déterminés en fonction de la main dans laquelle l'objet était placé au cours de la phase d'habituation, puis deux sous-groupes ont été définis en fonction de la forme de l'objet utilisé au cours de cette même phase. Les enfants ont été assignés aléatoirement à ces quatre groupes. Chaque groupe comprenait six enfants prématurés. **Lors de la phase test**, les enfants habitués étaient répartis en deux groupes : un groupe contrôle à qui était présenté deux fois l'objet familier et un groupe expérimental à qui était présenté deux fois l'objet nouveau. La discrimination entre les objets nouveau et familier était définie de la manière suivante : la discrimination est obtenue lorsque la moyenne des temps de tenue de l'objet nouveau est significativement plus élevée que la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase d'habituation (réaction à la nouveauté attendue pour le groupe expérimental). Au contraire, nous nous attendions à ce que la moyenne des temps de tenue de l'objet familier et la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase d'habituation ne diffèrent pas significativement (attendu pour le groupe contrôle).

4.2.3. Analyses statistiques

Pour la phase d'habituation, les analyses statistiques ont été réalisées avec deux facteurs principaux : un facteur inter-sujets (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) et un facteur intra-sujet (Essais : durée des deux premiers essais d'habituation *vs.* durée des deux derniers essais d'habituation). Lors de la phase test, les analyses statistiques ont été réalisées avec deux facteurs principaux : un facteur inter-sujets (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) et un facteur intra-sujet (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux essais de la phase test). De plus, afin de vérifier si les paramètres de performances n'étaient pas affectés par le côté testé et / ou la forme de l'objet, des analyses statistiques ont été effectuées avec deux facteurs inter-sujets : un facteur Main (gauche *vs.* droite) et un facteur Forme (cylindre *vs.* prisme). Enfin, afin de comparer les performances entre les nouveau-nés prématurés et à terme, une analyse statistique supplémentaire a été réalisée avec un facteur inter-sujets : Population (prématuré *vs.* terme).

4.3. RESULTATS

4.3.1. Phase d'habituation

Une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Essais : durée des deux premiers essais d'habituation *vs.* durée des deux derniers essais d'habituation) a été réalisée sur les temps de tenue. Les résultats montrent un effet significatif du facteur Essais ($F(1, 22) = 66{,}523$; $p < 0{,}001$) : les enfants prématurés tenaient plus longtemps l'objet au cours des deux premiers essais d'habituation (M = 57 s, ET = 31 s) que lors des deux derniers essais d'habituation (M = 8 s, ET = 6 s). Il n'y a ni d'effet significatif du facteur Groupe ($F(1, 22) = 0{,}544$; $p = 0{,}469$) ni d'interaction significative Groupe × Essais ($F(1, 22) = 0{,}075$; $p = 0{,}786$). Ce résultat révèle une habituation tactile réussie et similaire pour les deux groupes contrôle et expérimental.

Le Tableau 5 présente les paramètres d'habituation en fonction de la main testée et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation. Pour vérifier si les paramètres de l'habituation n'étaient pas affectés par le côté testé et / ou la forme de l'objet, des ANOVA pour le plan 2 (Forme : prisme *vs.* cylindre) × 2 (Main : gauche *vs.* droite) ont été réalisées. Tout d'abord, pour le temps de tenue total : aucun effet significatif du facteur Main ($F(1, 23) = 0{,}492$; $p = 0{,}491$), du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}347$; $p = 0{,}563$) et de l'interaction Main × Forme ($F(1, 23) = 0{,}008$; $p = 0{,}928$) n'a été observé. Ensuite, pour le temps de tenue des deux premiers essais, aucun effet significatif du facteur Main ($F(1, 23) = 0{,}003$; $p = 0{,}956$), du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}290$; $p = 0{,}596$) et de l'interaction Main × Forme ($F(1, 23) = 1{,}454$; $p = 0{,}242$) n'a été mis en évidence. Enfin, pour le nombre moyen d'essais, nous ne montrons aucun effet significatif du facteur Main ($F(1, 23) = 2{,}952$; $p = 0{,}101$), du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}060$; $p = 0{,}809$), ni d'interaction significative Main × Forme ($F(1, 23) = 2{,}952$, $p = 0{,}101$). En conclusion, les effets de ces facteurs et leurs interactions ne sont pas significatifs (tous les $p > 0{,}10$), indiquant que les deux objets étaient tenus de façon équivalente par chacune des mains en phase d'habituation.

Main	Objet	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Main droite	Prisme (N=6)	65,7 (30,1)	45,7 (18,6)	4,5 (1,2)
	Cylindre (N=6)	79,7 (45,3)	68,8 (39,2)	4 (0)
Main gauche	Prisme (N=6)	82 (44,8)	62,4 (31,8)	4,5 (0,6)
	Cylindre (N=6)	92,2 (71,9)	53,5 (36,2)	5,2 (1)

Tableau 5 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction de la main testée et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation [étude 1]***

Enfin, le Tableau 6 présente les corrélations de Bravais-Pearson réalisées entre les paramètres d'habituation et les caractéristiques générales de l'enfant (âge gestationnel, âge post-natal, âge post-conceptionnel, poids de naissance et poids le jour du test). Il n'y a pas de corrélation significative entre tous ces facteurs (tous les $p > 0,10$) indiquant que les caractéristiques d'âges et de poids n'affecteraient pas l'habituation.

Phase	Paramètres	Age gestationnel	Age post-natal	Age post-conceptionnel	Poids de naissance	Poids le jour du test
Habituation	Temps de tenue total	-0,007	0	-0,106	-0,244	-0,354
		p=0,976	**p=1**	**p=0,621**	**p=0,250**	**p=0,101**
	Temps de tenue des 2 premiers essais	-0,089	0,099	-0,083	-0,219	-0,220
		p=,0678	**p=0,646**	**p=0,699**	**p=0,303**	**p=0,303**
	Nombre d'essais	0,076	-0,091	-0,041	-,163	-0,327
		p=0,725	**p=0,671**	**p=0,849**	**p=0,447**	**p=0,119**
Test	Temps de tenue des 2 essais	-0,078	0,094	0,084	0,010	0,037
		p=0,715	**p=0,661**	**p=0,698**	**p=0,962**	**p=0,863**

Tableau 6 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales des enfants prématurés [étude 1]***

4.3.2. Phase test

Une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue. Les résultats ne révèlent aucun effet significatif du facteur Groupe ($F(1, 22) = 1,410$; $p = 0,248$) et un effet significatif du facteur Phase ($F(1, 22) = 27,044$; $p < 0,001$) qui s'explique par une interaction Phase × Groupe significative ($F(1, 22) = 5,458$; $p = 0,029$).

Pour étudier cette interaction Phase × Groupe, des comparaisons planifiées ont été réalisées : le groupe expérimental tenait significativement plus longtemps l'objet nouveau (M = 18,9 s, ET = 10,2 s) par rapport aux deux derniers essais d'habituation (M = 3,4 s, ET = 1,8 s) ($F(1, 22) = 28,4$; $p < 0,001$). Ces résultats suggèrent qu'une réaction à une forme nouvelle a été obtenue chez les enfants prématurés. Chez les enfants du groupe contrôle, la différence de temps de tenue de l'objet familier lors de la phase test (M = 11,1 s, ET = 11,4 s) et lors des deux derniers essais d'habituation (M = 5,3 s, ET = 3,6 s) approche la significativité ($F(1, 22) = 4,10$; $p = 0,055$), bien que ce soit le même objet qui soit présenté dans les deux phases. L'analyse des données individuelles va nous permettre de comprendre ce résultat surprenant. Le Tableau 7 présente les données individuelles de chaque enfant prématuré.

		Habituation			Test		
Groupe	S	Temps de tenue (sec.) avant dernier essai	Temps de tenue (sec.) dernier essai	Moyenne des temps de tenue (sec.)	Temps de tenue (sec.) essai test 1	Temps de tenue (sec.) essai test 2	Moyenne des temps de tenue (sec.)
Expérimental (N = 12)	1	1,262	1,199	1,23	1,257	*60 (27,3675)*	*30,63 (14,31)*
	2	3,192	1,787	2,49	8,164	20,783	14,47
	3	1,559	4,019	2,79	14,81	33,952	24,38
	4	5,94	2,402	4,17	50,557	1,082	25,82
	5	2,234	11,307	6,77	3,807	2,534	3,17
	6	1,755	9,612	5,68	34,75	18,792	26,77
	7	1,208	1,22	1,21	11,093	18,024	14,56
	8	8,248	1,652	4,95	19,445	6,632	13,04
	9	2,98	1,05	2,02	21,756	1,708	11,73
	10	1,293	2,428	1,86	53,655	2,404	28,03
	11	2,851	4,442	3,65	2,321	*60 (2,1685)*	*31,16 (2,24)*
	12	6,793	1,681	4,24	3,652	1,933	2,79
M (M modifié)		**3,28**	**3,57**	**3,42**	**18,77**	**18,99 (11,44)**	**18,88 (15,11)**
Contrôle (N = 12)	13	2,75	4,783	3,77	1,148	1,144	1,15
	14	4,414	3,215	3,81	2,496	17,796	10,15
	15	9,264	3,116	6,19	18,117	1,981	10,05
	16	2,037	6,021	4,03	5,155	2,276	3,72
	17	1,95	9,633	5,79	2,801	1,465	2,13
	18	3,303	3,09	3,2	1,819	9,964	5,89
	19	4,017	1,878	2,95	3,475	17,334	10,4
	20	1,684	7,06	4,37	9,399	1,754	5,58
	21	7,157	5,24	6,2	8,925	58,998	33,96
	22	2,193	1,686	1,94	1,388	4,773	3,08
	23	3,993	6,397	5,2	18,282	8,35	13,32
	24	2,088	29,37	15,73	*60 (9,835)*	8,473	*34,24 (9,15)*
M (M modifié)		**3,74**	**6,79**	**5,27**	**11,08 (6,9)**	**11,19**	**11,14 (9,05)**

Tableau 7 ***Données individuelles : temps de tenue des deux derniers essais et leurs moyennes, et temps de tenue des essais tests 1 et 2 et leurs moyennes pour chaque participant (S) et chaque groupe (expérimental vs. contrôle). En italique : données à modifier; en italique et entre parenthèses : données modifiées; en gras : moyenne des temps de tenue pour chaque groupe [étude 1]***

Le Tableau 7 montre qu'un enfant (S24) « bloque » sur l'objet familier lors de la phase test (temps de tenue = 60 s). Nous avons dû supprimer ce temps de tenue alors que l'enfant était considéré comme habitué à cet objet. En effet, nous supposons que ce comportement pourrait être responsable de cette différence inattendue. Afin de tester cette hypothèse et d'homogénéiser notre approche à travers les groupes, nous avons substitué trois données égales à 60 secondes (une dans le groupe contrôle-S24-et deux dans le groupe expérimental-S1 et S11) par la moyenne des temps de tenue des sujets qui étaient dans les mêmes conditions expérimentales. Le Tableau 7 présente les données modifiées entre parenthèses.

Ensuite, une ANOVA identique pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux essais de la phase test) a été réalisée en prenant en compte ces données modifiées. Les analyses confirment une interaction Phase × Groupe significative ($F(1, 22) = 4{,}242$; $p = 0{,}05$) et les comparaisons planifiées indiquent que le groupe expérimental tenait le nouvel objet plus longtemps (M = 15,11 s, ET = 9,4 s) par rapport aux deux derniers essais d'habituation (M = 3,4 s, ET = 1,8 s) ($F(1, 22) = 18{,}55$; $p < 0{,}001$) alors que la différence des temps de tenue du groupe de contrôle s'éloigne du seuil de significativité ($F(1, 22) = 1{,}94$; $p > 0{,}15$). Ainsi, la différence inattendue dans le groupe contrôle serait bien dû au comportement de « blocage » d'un enfant prématuré.

Pour vérifier si les temps de tenue de la phase test ne sont pas affectés par la côté testé et / ou la forme de l'objet, une ANOVA pour le plan 2 (Forme : prisme *vs.* cylindre) × 2 (Main : gauche *vs.* droite) a été réalisée. Les résultats montrent que le facteur Main ($F(1, 23) = 0{,}108$; $p = 0{,}747$), le facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}600$; $p = 0{,}450$) et l'interaction Main × Forme ($F(1, 23) = 0{,}607$; $p = 0{,}447$) n'avaient pas d'influence sur les temps de tenue au cours de la phase de test.

Enfin, le Tableau 6 présente les corrélations de Bravais-Pearson réalisées entre les temps de tenue de la phase de test et les caractéristiques générales de l'enfant (l'âge gestationnel, l'âge post-natal, l'âge post-conceptionnel, poids à la naissance et le poids au test). Il n'y a pas de corrélation significative entre tous ces facteurs (tous les $p > 0{,}25$), ce qui suggère que l'âge gestationnel, l'âge post-natal, l'âge post-conceptionnel, poids à la naissance et le poids à l'essai n'avaient pas d'influence sur les temps de tenue de la phase de test.

4.3.3. Comparaison entre les nouveau-nés à terme et prématurés pour les deux phases

Les données de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000) sont comparées à nos données afin d'étudier si les performances sont différentes entre nos enfants prématurés et les nouveau-nés à terme.

4.3.3.1. Phase d'habituation

Le Tableau 8 présente le temps de tenue total, le temps de tenue des deux premiers essais et le nombre moyen d'essais pour atteindre le critère d'habituation, pour les nouveau-nés prématurés et à terme respectivement. Des tests t de Student ont été utilisés pour comparer les moyennes respectives des trois paramètres d'habituation entre les deux populations. Le temps de tenue total des enfants prématurés était significativement plus court que pour les enfants nés à terme ($t(46) = 2{,}256$; $p = 0{,}029$). Le temps de tenue des deux premiers essais était plus long chez les enfants prématurés que chez les enfants nés à terme, mais cette différence n'est pas significative ($t(46) = 1{,}609$; $p = 0{,}173$). Les enfants prématurés avaient besoin de moins d'essais pour atteindre le critère d'habituation que les nouveau-nés à terme ($t(46) = 4{,}932$; $p < 0{,}001$).

Population	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Prématuré (N=24)	79,9 (47,9)	57,6 (31,5)	4,5 (0,9)
A terme (N=24)	123,1 (63,7)	45,9 (27)	6,4 (1,6)
t	2,256 *	1,609	4,932 ***

Tableau 8 ***Comparaison des paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) entre les nouveau-nés prématurés et à terme. t indique les résultats des tests de Student (* p < 0,05 ; *** p < 0,001) [étude 1]***

4.3.3.2. Phase test

Le Tableau 9 présente le temps de tenue des deux essais de la phase test entre les nouveau-nés prématurés et à terme. En ce qui concerne les données des nouveau-nés à terme dans la phase de test, nous avons utilisé le temps de tenue des deux essais tests de l'objet nouveau pour le groupe « non-lag » (label issu de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000)), car ce groupe « non-lag » se trouvait dans les mêmes conditions expérimentales que notre groupe expérimental. Le groupe « lag » avait reçu, après habituation, deux essais tests

avec l'objet familier suivis par deux essais supplémentaires avec le nouvel objet. Cependant, pour la présente comparaison, nous n'avons utilisé que le temps de tenue des essais tests de l'objet familier afin d'être dans les mêmes conditions que notre groupe de contrôle.

Population	Groupe	Temps de tenue (sec.)
Prématuré (N=24)	Contrôle	11,14 (11,3)
	Expérimental	18,88 (10,2)
A terme (N=24)	Contrôle	6,9 (5,4)
	Expérimental	19,1 (15)

Tableau 9 ***Temps de tenue lors de la phase test (moyennes et (écart-types)) entre les nouveau-nés prématurés et à terme [étude 1]***

Une ANOVA pour le plan 2 (Population : prématuré *vs.* à terme) × 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) a été effectuée sur les temps de tenue des essais de la phase de test. Les analyses ont révélé un effet principal du facteur Groupe ($F(1, 47) = 9{,}806$; $p = 0{,}003$), confirmant une réaction à la nouveauté pour la nouvelle forme à la fois pour les nouveau-nés prématurés et nés à terme. En effet, le groupe expérimental tenait le nouvel objet (M = 19 s, ET = 12,6 s) plus longtemps que le groupe contrôle ne tenait l'objet familier (M = 9 s, ET = 9 s). Toutefois, aucun effet significatif du facteur Population ($F(1, 47) = 0{,}384$; $p > 0{,}25$), ni d''interaction Population × Groupe ($F(1, 47) = 0{,}496$; $p > 0{,}25$) n'a été observé.

4.4. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'étudier la capacité des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets. Elle a permis de mettre en évidence trois résultats principaux.

Premièrement, quand un objet est mis dans la main du nouveau-né prématuré, le temps de tenue diminue essai après essai jusqu'à ce que le critère d'habituation soit atteint. C'est la première fois qu'une habituation haptique manuelle est mise en évidence pour chaque nouveau-né prématuré entre 33 et 34+6 SA. Ce résultat est cohérent avec l'étude de Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002) concernant le toucher passif. Ces auteurs ont montré que la majorité des enfants prématurés entre 30 et 36 SA présentaient une accélération cardiaque et motrice suite à la présentation initiale du stimulus, puis une diminution des deux types de réponses lorsque la stimulation était répétée, ce qui indique que les enfants s'étaient habitués

tactilement. Cependant, les enfants étaient en phase de sommeil agité et le stimulus était une caresse appliquée durant 4 secondes sur l'avant bras de l'enfant pendant huit essais, avec un intervalle de 30 secondes entre chaque essai. En fait, une habituation réussie peut être considérée comme un type élémentaire d'apprentissage. Le lien entre habituation et mémoire est aujourd'hui clairement établie (Bornstein, 1998), ce qui signifie que les enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA sont capables de mémoriser la forme d'un objet avec chaque main.

Deuxièmement, après habituation, quand une nouvelle forme d'objet est mise dans la main de l'enfant prématuré, le temps de tenue augmente. Ce résultat révèle pour la première fois que les nouveau-nés prématurés sont capables de discrimination manuelle (toucher actif) entre un prisme et un cylindre, quelle que soit la main testée. Par conséquent, le grasping à 33 SA ne serait pas seulement un réflexe parce que les enfants prématurés sont capables de traiter et d'encoder des informations sur la forme des objets et de faire la différence entre ces deux formes d'objets.

Enfin, les données de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000) ont été comparées avec nos données, afin d'examiner si ces capacités de perception manuelle étaient qualitativement et / ou quantitativement différentes entre nouveau-nés prématurés et nés à terme. Ces auteurs ont mis en évidence l'existence d'une habituation et d'une discrimination manuelle entre un prisme et un cylindre, quelle que soit la main testée chez des nouveau-nés à terme âgés de 2 jours, résultats que nous venons aussi de mettre en évidence chez les enfants prématurés âgés de 33 SA. Ces capacités de perception manuelle sont donc qualitativement similaires, mais le sont-elles aussi quantitativement ? La comparaison indique que les enfants prématurés s'habituent plus rapidement, tandis que les performances lors de la phase test ne diffèrent pas significativement. La durée du temps d'habituation observée dans cette étude pourrait être affectée par la fatigabilité motrice, qui est un phénomène bien connu chez les enfants prématurés (Dalla Piazza, 1997). Mais, ce résultat peut aussi suggérer que l'habituation observée dans notre étude est la manifestation d'une simple fatigue motrice. Cependant, si tel était le cas, aucune discrimination entre les formes n'aurait été observée. L'habituation plus rapide observée chez les enfants prématurés semble être suffisante et efficace pour entraîner une réaction à l'objet nouveau. On peut dès lors considérer que la fatigabilité motrice ne perturbe pas ou peu la capacité d'habituation des enfants prématurés de 33 SA. L'ensemble de ces résultats suggère que les processus impliqués dans l'habituation et la discrimination manuelle chez les nouveau-nés prématurés et les nouveau-nés à terme semblent seulement comparables qualitativement. Ces différences mises en évidence entre les enfants prématurés et nés à terme révèlent l'influence de la

prématurité sur le processus d'habituation tactile. Mais existe-t-il aussi de telles différences au sein même de la prématurité ?

Encadré 3 : résumé de l'étude 1

Introduction: Le grasping à la naissance est un réflexe bien connu en réponse à une stimulation de la paume de la main. Même si le réflexe de grasping est l'activité manuelle dominante du nouveau-né, ses compétences ne doivent pas être réduites à de simples pressions sur les objets sans prise d'informations. En effet, de récentes études ont révélé que les nouveau-nés nés à terme sont capables de mémoriser et de détecter des différences sur la forme des objets. La perception manuelle de la forme des objets n'a pas été étudiée chez les enfants prématurés. L'objectif principal de cette expérience était d'étudier la capacité des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets.

Méthodologie et résultats : Nous avons réalisé une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté sans contrôle visuel chez 24 enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA. Après habituation à un objet (prisme ou cylindre) dans une main (gauche ou droite) en phase d'habituation, les enfants recevaient soit le même objet (familier) soit un nouveau dans la même main en phase de test. Après les présentations successives d'un même objet, nous avons observé une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais pour chaque enfant prématuré. De plus, une augmentation significative du temps de tenue était obtenue lors de la présentation de l'objet nouveau. Enfin, la comparaison des performances des enfants prématurés et celles des nouveau-nés à terme a montré que les enfants prématurés s'habituaient plus rapidement, tandis que les performances lors de la phase test ne différaient pas significativement.

Conclusion : Une habituation tactile manuelle a été mise en évidence chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA. A la suite de cette habituation, une discrimination manuelle de la forme des objets a été retrouvée chez les enfants prématurés, quelle que soit la main testée. Ces résultats sont similaires à ceux observés chez les nouveau-nés nés à terme. Toutefois, une différence dans la vitesse du processus d'habituation est révélée entre les enfants prématurés et nés à terme.

CHAPITRE 5. TRAITEMENT INTRA-MAIN DE LA FORME DES OBJETS CHEZ LES ENFANTS PREMATURES DE DIFFERENTS AGES POST-CONCEPTIONNELS : INFLUENCE DE LA PLUS OU MOINS GRANDE PREMATURITE (étude 2)

Cette étude s'intéressait à l'influence du degré de prématurité sur le traitement intra-main de la forme des objets chez des enfants prématurés. Dans une précédente étude, grâce à une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, nous avons déjà montré que les nouveau-nés prématurés âgés de 33 à 34+6 SA sont capables d'habituation et de discrimination tactile entre deux objets de formes différentes avec la main droite ou gauche en présentant une préférence pour l'objet nouveau (Lejeune et al., 2010). Ces résultats montrent que les enfants prématurés sont capables d'extraire des informations sur la forme des objets et de les encoder. Le lien entre habituation et mémoire est maintenant clairement établie (Bornstein, 1998). Dans notre étude, l'habituation suivie du test de réaction à la nouveauté est une procédure qui nous a permis de mettre en évidence une mémoire haptique chez les enfants prématurés. Toutefois ces données ne nous disent pas si cet encodage résiste à une interférence. Lhote et Streri (1998) ont étudié la robustesse de la mémoire haptique chez des enfants âgés de 2 mois. Dans cette expérience, après habituation à un objet, le groupe « interférence » se voit présenter deux fois un nouvel objet puis deux fois l'objet familier. L'interférence correspond à la présentation de l'objet nouveau. Les résultats mettent en évidence une mémoire de reconnaissance après interférence sous certaines conditions. Chez les filles, la mémoire de reconnaissance a été mise en évidence après interférence seulement de la main gauche. La mémoire haptique semble être bien fragile, dépendante du sexe du bébé et de la main sollicitée. Les mêmes auteurs ont reproduit cette expérience chez des enfants âgés de 4 mois (Lhote & Streri, 2003), une mémoire de reconnaissance a été mise en évidence pour chacune des mains et chacun des sexes chez les enfants de 4 mois, même si les auteurs notent des performances de reconnaissance de l'objet familier plus faibles pour la main droite. L'ensemble de ces résultats montre qu'il existe une réelle mémoire de reconnaissance haptique après une interférence (présentation d'un objet nouveau) dès l'âge de 2 mois chez des enfants nés à terme, même si celle-ci reste fragile. Existe-t-il déjà une mémoire haptique à court terme après interférence chez les enfants prématurés ?

L'étude de l'influence de la plus ou moins grande prématurité sur la capacité des enfants à répondre à une stimulation sensorielle a déjà été mise en évidence dans d'autres modalités. En audition, la capacité de discrimination de sons de fréquences différentes semble être dépendante de l'âge gestationnel des enfants prématurés : les potentiels évoqués auditifs sont de plus petites amplitudes chez les prématurés nés avant 30 SA que ceux des prématurés nés après 30 SA (Bisiacchi, Mento, & Suppiej, 2009). White-Traut et ses collaborateurs (2009) ont étudié longitudinalement l'évolution de la réponse cardiaque lors d'une procédure d'habituation / déshabituation avec des sons de 65 dB qui différent en fréquence chez des enfants prématurés âgés de 32 SA jusqu'à leur sortie de l'hôpital (en moyenne 36 SA). Au cours du temps, la maturation induit une décélération cardiaque plus rapide et qui se prolonge en réponse à un nouveau stimulus. Cette étude met en évidence la maturation de la réponse cardiaque face à un processus d'apprentissage, l'habituation auditive. En vision, une étude longitudinale s'est intéressée à la poursuite de cible chez des enfants prématurés (Dubowitz, Dubowitz, Morante, & Verghote, 1980). Les résultats mettent en évidence une capacité de poursuite visuelle dès 31 SA qui devient équivalente à celle des enfants à terme vers 33-34 SA, indiquant un aspect expérientiel du développement des compétences visuelles. De plus, quel que soit leur âge gestationnel, les enfants prématurés à un même âge post-conceptionnel présentent des performances similaires, mettant ainsi en avant des compétences liées à la maturation du système de traitement visuel. L'ensemble de ces résultats indique que les aspects de maturation et d'expérience vont tous les deux influer sur les réponses à des stimulations sensorielles auditives et visuelles chez les enfants prématurés en période néonatale. Dans la modalité tactile (toucher passif), Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002) ont cherché à caractériser la maturation de la sensibilité tactile en utilisant une procédure d'habituation / déshabituation chez des nouveau-nés prématurés et nés à terme entre 30 et 40 SA en constituant quatre groupes d'âge post-conceptionnel : 29-31 SA (grande prématurité), 32-34 SA (moyenne prématurité), 35-37 SA (petite prématurité) et 38-41 SA (à terme). Cette étude montre une augmentation graduelle dans l'ampleur de l'accélération cardiaque provoquée par une stimulation tactile appliquée sur l'avant bras de l'enfant ainsi qu'une augmentation de la corrélation des réponses cardiaques et comportementales (mouvements du corps). Cela met en évidence une maturation progressive des systèmes physiologique et moteur entre 30 et 40 SA en réponse à une stimulation tactile. Cependant, l'influence du degré de prématurité sur la perception tactile manuelle (toucher actif) des nouveau-nés prématurés reste inexplorée.

Les études réalisées en neuroimagerie révèlent l'existence d'une intégration centrale des informations tactiles chez les nouveau-nés prématurés dès 28 SA. (Bartocci, Bergqvist,

Lagercrantz, & Anand, 2006) ainsi qu'une activation corticale somatosensorielle lors de mouvements de la main dès 29 SA (Milh et al., 2007). Ces résultats suggèrent que les enfants prématurés auraient un sens du toucher relativement mature dès 28 SA permettant des compétences tactiles manuelles précoces.

5.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE

L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'effet du degré de prématurité sur le traitement intra-main de la forme des objets. Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier les compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence (suite à la présentation du nouvel objet) de la main gauche chez trois grands groupes de prématurité. Ces groupes sont établis en fonction des risques spécifiques auxquels les prématurés sont exposés dans une tranche d'âge donnée. Les enfants prématurés ont été inclus dans ces trois groupes selon leur âge post-conceptionnel : la grande (< 32 SA), la moyenne (32-34 SA) et la petite prématurité (> 34 SA). Si les mêmes compétences étaient mises en évidence dans chacun des groupes d'âge, nous comparions les performances de chacun dans une analyse transversale afin d'étudier l'influence du degré de prématurité d'un point de vue quantitatif. De plus, nous avons voulu suivre longitudinalement les enfants dans les trois groupes de prématurité afin de vérifier qu'il n'existe pas encore chez ces enfants une mémoire haptique à long terme. En effet, les enfants prématurés subissant en moyenne 10 à 14 procédures par jour (Simons et al., 2003) et la mémoire haptique étant fragile chez les jeunes enfants de 2, 4, 8 mois notamment après une interférence (Catherwood, 1993; Lhote & Streri, 1998, 2003), nous postulons qu'un enfant testé plusieurs fois avec un délai minimum de 24 heures entre deux tests (trois tests maximum) ne présentera pas de mémoire haptique des tests précédents.

5.2. METHODE

5.2.1. Participants

Quatre-vingt-un enfants prématurés (37 filles et 44 garçons) ont participé à l'expérience. Nous avons stratifié cette population par tranche d'âge post-conceptionnel en trois groupes : un groupe de moins de 32 SA (grande prématurité), un groupe de 32 à 34 SA (moyenne prématurité) et un groupe de plus de 34 SA (petite prématurité). Pour être inclus dans cette étude, les enfants prématurés devaient être testés dans leurs dix premiers jours de vie. On considérait les enfants comme inclus dans l'étude si l'enfant s'était habitué, mais aussi si l'expérience avait été arrêtée en cours ou si l'enfant ne s'était pas habitué. Une fois les enfants inclus dans l'étude, les grands et moyens prématurés pouvaient être testés dans les autres groupes d'âge quand ils atteignaient l'âge post-conceptionnel d'intérêt. Le Tableau 10 présente les caractéristiques générales de la population en fonction du groupe de prématurité.

Prématurité	Age gestationnel (SA)	Age post-conceptionnel (SA)	Age post-natal (jours)	Poids de naissance (g.)	Poids le jour du test (g.)
Grande	29+2	30+2	7	1286	1227
(N=24)	(de 26+6 à 31+1)	(de 28 à 31+5)	(de 2 à 10)	(de 830 à 1895)	(de 825 à 1740)
Moyenne	31+1	32+6	12	1494	1545
(N=32)	(de 26+6 à 33+5)	(de 32 à 33+6)	(de 1 à 43)	(de 900 à 2240)	(de 1020 à 2240)
Petite	31+4	35+2	25	1594	1920
(N=24)	(de 26 à 34+2)	(de 34 à 38+3)	(de 2 à 87)	(de 900 à 2360)	(de1350 à 2940)

Tableau 10 ***Caractéristiques générales des enfants en fonction du groupe de prématurité [étude 2]***

5.2.2. Procédure

La procédure et ses conditions de passation ont été précédemment décrites dans le *Chapitre 1. Méthodologie générale.* Néanmoins, nous allons apporter quelques précisions méthodologiques spécifiques à cette étude. Tout d'abord, nous avons pu observer dans l'étude 1 que l'enfant prématuré présentait souvent beaucoup de mouvements désordonnés des membres. C'est pourquoi nous avons choisi l'emmaillotement, afin de calmer l'enfant en le contenant et ainsi favoriser son attention sur l'exploration de l'objet que nous lui

présentons. **Avant de commencer l'expérience**, l'expérimentateur 1 emmaillotait donc l'enfant prématuré, c'est-à-dire qu'il l'enveloppait à l'aide d'un lange en laissant le bras gauche en dehors (Figure 14).

Figure 14 ***Installation de l'enfant prématuré pour l'étude 2 : l'emmaillotement***

Lors de la phase d'habituation, le prisme était présenté à la moitié des enfants (N = 12) et le cylindre à l'autre moitié (N = 12). Lors de l'étude 1, il n'a pas été observé de différence significative des paramètres de l'habituation en fonction de la main testée. Par conséquent, l'objet était systématiquement présenté dans la main gauche, main la plus souvent libre de toute prothèse médicale. **Lors de la phase test**, les enfants habitués étaient répartis en deux groupes : un groupe contrôle à qui était présenté quatre fois l'objet familier et un groupe expérimental à qui était présenté deux fois l'objet nouveau puis deux fois l'objet familier. La discrimination entre les objets nouveau et familier était définie de la même manière que dans l'étude 1 : la discrimination est obtenue lorsque la moyenne des temps de tenue de l'objet nouveau est significativement plus élevée que la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase d'habituation (réaction à la nouveauté attendue pour le groupe expérimental). Au contraire, nous nous attendions à ce que la moyenne des temps de tenue de l'objet familier de la phase test (essais 1 et 2) et la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase d'habituation ne diffèrent pas significativement (attendu pour le groupe contrôle). Si les enfants prématurés du groupe expérimental étaient capables de discrimination, nous nous intéressions alors à la reconnaissance de l'objet familier. La reconnaissance de l'objet familier est obtenue lorsque la moyenne des temps de tenue de l'objet familier présenté en phase test (essais 3 et 4) est significativement moins élevée que la moyenne des temps de tenue de l'objet nouveau (essais 1 et 2) (attendu pour le groupe expérimental). Quant au groupe contrôle à qui aucun objet nouveau n'a été présenté, nous nous attendions à ce que la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase

test (essais 3 et 4) et la moyenne des temps de tenue des deux premiers essais de la phase test (essais 1 et 2) ne diffèrent pas significativement.

5.2.3. Analyses statistiques

Lors de la phase d'habituation, afin de vérifier si ces paramètres d'habituation ne différaient pas en fonction de la forme de l'objet ou du groupe, des analyses statistiques ont été effectuées avec deux facteurs inter-sujets : un facteur Groupe (contrôle *vs.* expérimental) et un facteur Forme (cylindre *vs.* prisme). Lors de la phase test, pour la discrimination, les analyses statistiques ont été réalisées avec deux facteurs principaux : un facteur inter-sujets (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) et un facteur intra-sujet (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux premiers essais de la phase test). Si les enfants du groupe expérimental présentaient une discrimination, des analyses statistiques étaient effectuées pour la reconnaissance de l'objet familier avec deux facteurs principaux : un facteur inter-sujets (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) et un facteur intra-sujet (Phase : moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test). Enfin, pour comparer les résultats de chaque groupe de prématurité, des analyses statistiques ont été réalisées avec un facteur inter-sujets (Prématurité : grande *vs* moyenne *vs* petite).

De manière conventionnelle, le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. De plus, l'approche de la significativité a été fixée à p situé entre 0,05 et 0,10. Enfin, les effets étaient considérés comme non significatifs lorsque $p > 0,10$.

5.3. RESULTATS

Cette section est divisée en cinq parties : la première porte sur les résultats de l'ensemble des enfants prématurés, les deuxième, troisième et quatrième parties portent sur les résultats d'habituation, de discrimination et de reconnaissance pour chaque groupe d'âge d'enfants prématurés, enfin la cinquième partie compare ces derniers résultats entre les groupes d'âge.

5.3.1. Population totale

La Figure 15 présente la répartition des enfants prématurés pour chaque groupe d'âge ainsi que les finalités des tests. Au total, quinze tests ont dû être arrêtés avant la fin pour les raisons suivantes : endormissement (N=5), ne saisissait pas l'objet (N=4), pleurs continuels (N=3), grande latence de saisie entre chaque essai (N=1), très faible tonus musculaire (N=1), problème technique (N=1). De plus, 24 enfants ne se sont pas habitués. Après visionnage des vidéos, nous avons observé quatre cas de figure à cette non habituation : endormissement (N=5), grande agitation (N=3), grande labilité des états d'éveil / sommeil (N=10), bon état d'éveil (N=6). Pour la majorité des enfants non habitués (N=18), ce résultat s'expliquait par une mauvaise évaluation des états de veille / sommeil de la part des expérimentateurs. En effet, le stade d'éveil d'un enfant prématuré peut être difficile à évaluer en l'absence de formation à l'observation attentive du nouveau-né. Ainsi, nous postulons que ces enfants ont été considérés à tort comme non habitués à l'objet, car ils n'étaient pas dans les bonnes conditions d'éveil requises, condition bien particulière dans la vie d'un prématuré. Ces tests auraient dû être arrêtés avant la fin.

Cependant, six enfants présentaient les bonnes conditions d'éveil et ne se sont donc réellement pas habitués à l'objet. Trois profils différents ressortaient : trois enfants présentaient des temps de tenue élevés pendant les douze essais, deux enfants tenaient l'objet de plus en plus longtemps et un enfant alternait entre temps de tenue courts et temps de tenue longs sans atteindre le critère d'habituation. Cela n'était pas dû au groupe de prématurité (deux dans chaque groupe d'âge), ni à la forme de l'objet présenté (trois habituations avec le prisme et trois avec le cylindre). De plus, quatre de ces enfants ont été testés dans au moins une autre tranche d'âge et ont tous présenté une habituation réussie. Enfin, la recherche de troubles ou déficits communs possibles effectuée dans les dossiers médicaux de ces enfants par le pédiatre du service de néonatologie n'a rien révélé.

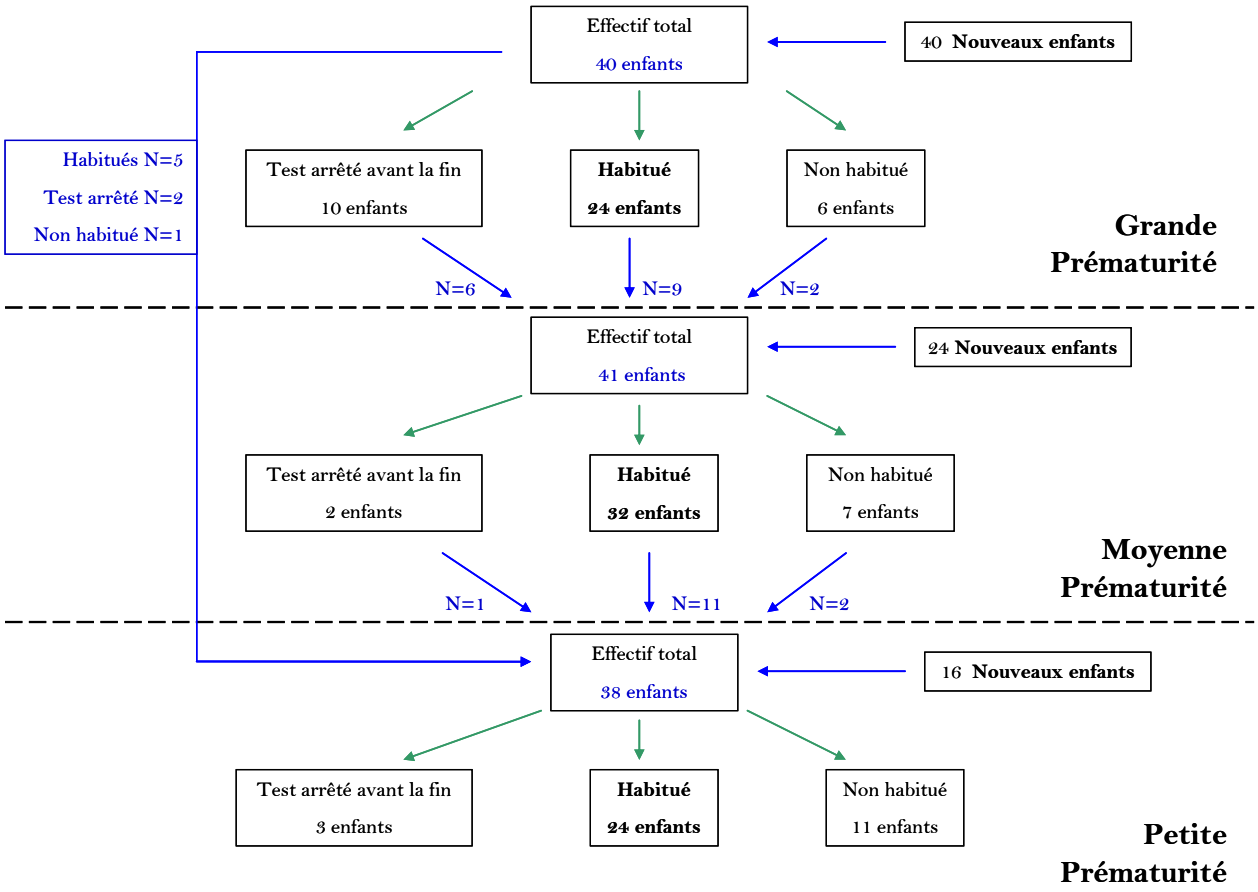

Figure 15 ***Répartition des enfants prématurés selon leur âge post-conceptionnel à travers l'étude. Les nouveaux enfants sont ceux inclus dans leurs dix premiers jours de vie. L'effectif total correspond à tous les enfants inclus dans chacun des trois groupes de prématurité (flèche bleue). Chaque enfant inclus et donc testé peut être habitué, non habitué ou alors le test a été arrêté avant la fin (flèche verte).***

Au final, 24 enfants prématurés se sont habitués dans les groupes de grande et petite prématurité et 32 enfants prématurés se sont habitués dans le groupe de moyenne prématurité. Des corrélations de Bravais-Pearson ont été réalisées pour l'ensemble des enfants habitués afin d'évaluer l'influence des caractéristiques de poids (à la naissance et le jour du test) et d'âges (gestationnel, post-conceptionnel et post-natal) sur les paramètres de performances de l'habituation. Le Tableau 11 présente les coefficients de corrélation de l'analyse ainsi que leurs seuils de significativité. Les résultats indiquent seulement une corrélation négative approchant la significativité entre le temps de tenue des deux premiers essais et l'âge post-natal (*r* de Pearson = - 0,211 ; p = 0,075). En d'autres termes, les enfants de plus petits âges post-nataux tenaient plus longtemps l'objet lors des deux premiers essais de l'habituation que les enfants ayant un âge post-natal plus important. Il n'y a pas d'autres corrélations significatives entre tous ces facteurs (tous les p > 0,10). Par la suite, nous

présenterons les corrélations faites par groupes d'âge afin de vérifier si ces caractéristiques n'affectent pas spécifiquement un groupe de prématurité.

Paramètres	Age gestationnel	Age post-conceptionnel	Age post-natal	Poids de naissance	Poids le jour du test
Temps de tenue total	0,039	-0,059	-0,094	-0,083	-0,056
	p=0,743	**p=0,621**	**p=0,431**	**p=0,486**	**p=0,639**
Temps de tenue des 2 premiers essais	0,064	-0,156	-0,211	-0,078	-0,183
	p=0,592	**p=0,191**	**p=0,075**	**p=0,516**	**p=0,123**
Nombre d'essais	-0,066	0,007	0,066	-0,089	0,014
	p=0,583	**p=0,956**	**p=0,583**	**p=0,456**	**p=0,908**

Tableau 11 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales de l'ensemble des enfants prématurés habitués (N=80) [étude 2]***

Nous allons maintenant présenter les résultats de chacun des trois groupes d'âge d'enfants habitués. Pour chaque groupe d'âge, nous verrons leurs performances d'habituation, leur capacité de discrimination et leur aptitude à reconnaître un objet familier après avoir eu un objet nouveau.

5.3.2. Etude 2.a : la grande prématurité (avant 32 SA)

5.3.2.1. Phase d'habituation

Tout d'abord, une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais a été observée chez 24 enfants prématurés. Ce résultat atteste de l'existence d'une habituation tactile manuelle chez les enfants prématurés âgés de 28 à 31+5 SA. La Figure 16 présente les profils d'habituation des enfants prématurés des groupes contrôle et expérimental. Ainsi, pour le groupe contrôle, nous observions une augmentation du temps de tenue de l'objet lors des essais sept et huit, puis une diminution de ce temps pour obtenir une habituation. L'analyse des résultats individuels a montré que trois nouveau-nés sur les vingt-quatre diminuaient progressivement leur temps de tenue de l'objet au départ, sans obtenir pour autant une habituation, puis ils exploraient de nouveau l'objet plus longtemps en le tenant jusqu'à soixante secondes pendant deux à trois essais et enfin le tenaient de moins en moins longtemps pour finir par s'habituer. Notons que ces trois enfants faisaient partie des enfants les plus immatures (environ 29 SA le jour du test).

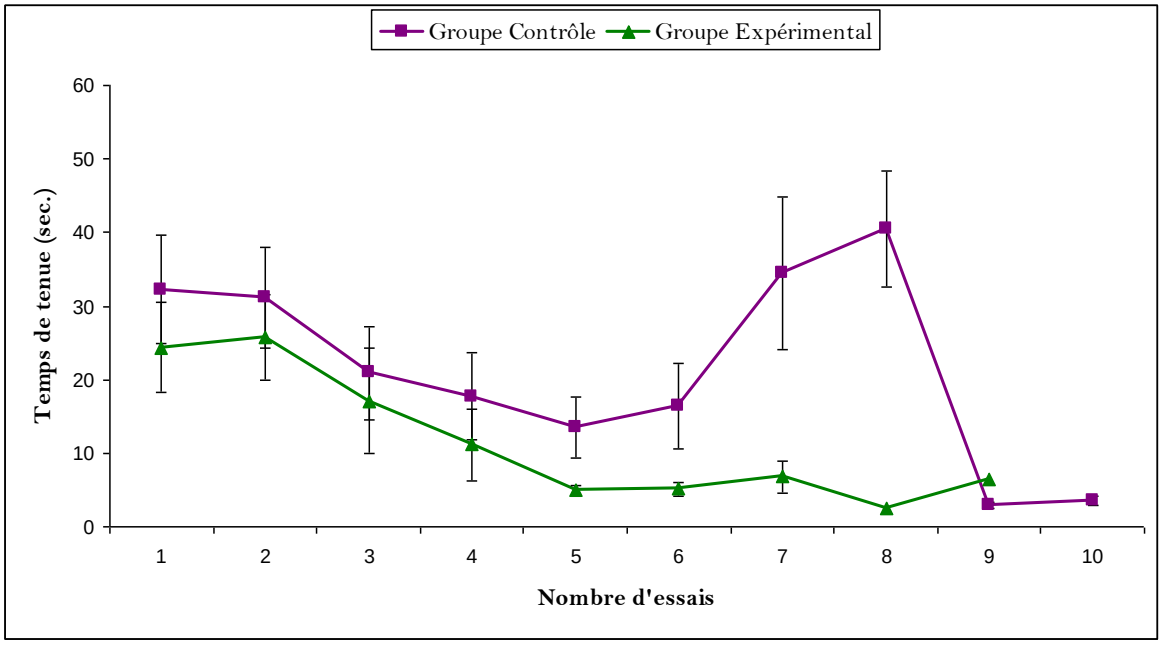

Figure 16 ***Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de moins de 32 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.a]***

Le Tableau 12 présente les paramètres d'habituation en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation. Afin de vérifier si ces paramètres d'habituation ne diffèrent pas en fonction de la forme de l'objet ou du groupe, deux analyses

ont été réalisées pour chacun des paramètres de performances et des tests t de Student ont été effectués. La première analyse utilisait le facteur Forme : elle révèle un effet principal de la Forme pour le temps de tenue total ($t(22) = 2{,}203$; $p = 0{,}038$). Ainsi, les enfants prématurés tenaient plus longtemps le cylindre (M = 142 s, ET = 91 s) que le prisme (M = 78 s, ET = 44 s) sur l'ensemble de l'habituation, tandis que le temps de tenue des deux premiers essais ($t(22) = 1{,}722$; $p = 0{,}104$) et le nombre d'essais ($t(22) = 0{,}217$; $p = 0{,}830$) n'étaient pas affectés par la Forme. La deuxième analyse utilisait le facteur Groupe. Aucune différence significative n'a été observée (tous les $p > 0{,}10$), ce qui signifie que les groupes contrôle et expérimental se sont habitués de façon comparable.

Groupe	Objet	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Contrôle	Prisme	94,3 (53,2)	51,3 (20,2)	5,7 (2,3)
	Cylindre	176,1 (102,3)	75,3 (46,1)	6,3 (1,9)
	Total	135,2 (88,7)	63,3 (36,2)	6 (2)
Expérimental	Prisme	60,8 (28,3)	40,8 (20)	5,3 (2,2)
	Cylindre	108 (71,3)	59,4 (29,7)	5 (0,9)
	Total	84,4 (57,3)	50,1 (26)	5,2 (1,6)
Total		109,8 (77,5)	56,7 (31,6)	5,6 (1,8)

Tableau 12 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]***

Le Tableau 13 présente les corrélations Bravais-Pearson réalisées entre les paramètres d'habituation et les caractéristiques générales de l'enfant (âge gestationnel, âge post-natal, âge post-conceptionnel, poids de naissance et poids le jour du test). Les résultats indiquent une corrélation négative approchant la significativité entre le nombre d'essais pour atteindre le critère d'habituation et l'âge gestationnel (*r* de Pearson = - 0,346 ; $p = 0{,}097$). En d'autres termes, plus l'enfant était né prématurément, plus il avait besoin d'essais pour s'habituer à l'objet. Cependant, en s'intéressant aux données individuelles on s'aperçoit que trois des enfants nés le plus tôt (27+5, 28+1 et 28+2 SA) présentaient tous les trois le nombre d'essais le plus élevé du groupe (9 et 10 essais). En faisant de nouveau l'analyse de corrélation sans ces trois enfants, le coefficient de corrélation est alors proche de zéro (*r* de Pearson = 0,045 ; $p = 0{,}845$). Cette première corrélation nous apparaît donc peu pertinente. Une seconde corrélation positive approchant la significativité existe entre le nombre d'essais pour atteindre le critère d'habituation et l'âge post-conceptionnel (*r* de Pearson = 0,097 ; $p = 0{,}088$), mais le coefficient de corrélation étant proche de zéro, elle ne nous apparaît pas non

plus pertinente. Il n'y a pas d'autres corrélations significatives entre tous ces facteurs (tous les $p > 0,10$).

Paramètres	Age gestationnel	Age post-conceptionnel	Age post-natal	Poids de naissance	Poids le jour du test
Temps de tenue total	-0,090	0,676	-0,162	0,450	-0,227
	p=0,676	**p=0,450**	**p=0,287**	**p=0,125**	**p=0,183**
Temps de tenue des 2 premiers essais	0,094	0,662	0,085	0,693	-0,087
	p=0,662	**p=0,693**	**p=0,687**	**p=0,404**	**p=0,693**
Nombre d'essais	-0,346	0,097	-0,356	0,088	0,046
	p=0,097	**p=0,088**	**p=0,831**	**p=0,135**	**p=0,134**

Tableau 13 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]***

5.3.2.2. Phase test

Les résultats de la phase test s'articulaient autour de deux phénomènes : la discrimination entre un nouvel objet et un objet familier, puis la reconnaissance d'un objet familier. La Figure 17 présente les profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation et des quatre essais de la phase test en fonction du groupe.

Pour étudier la capacité de discrimination entre un objet nouveau et un objet familier après habituation, une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux premiers essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue. Pour examiner notre hypothèse de discrimination, seule l'interaction Phase × Groupe était analysée. Les résultats révèlent une interaction significative ($F(1, 22) = 4,193$; $p = 0,05$). Pour étudier cette interaction, des comparaisons planifiées ont été effectuées. Chez les enfants du groupe contrôle, les temps de tenue de l'objet familier lors de la phase test ($M = 12,7$ s, $ET = 16$ s) et lors des deux derniers essais d'habituation ($M = 7,6$ s, $ET = 6,7$ s) ne différaient pas significativement ($F(1, 22) = 1,40$; $p = 0,25$). Le groupe expérimental tenait significativement plus longtemps l'objet nouveau ($M = 21,7$ s, $ET = 16,8$ s) par rapport aux deux derniers essais d'habituation ($M = 4$ s, $ET = 2,5$ s) ($F(1, 22) = 16,64$; $p < 0,001$). Ces résultats suggèrent qu'une réaction à une forme nouvelle est obtenue chez les enfants prématurés âgés de 28 à 31+5 SA.

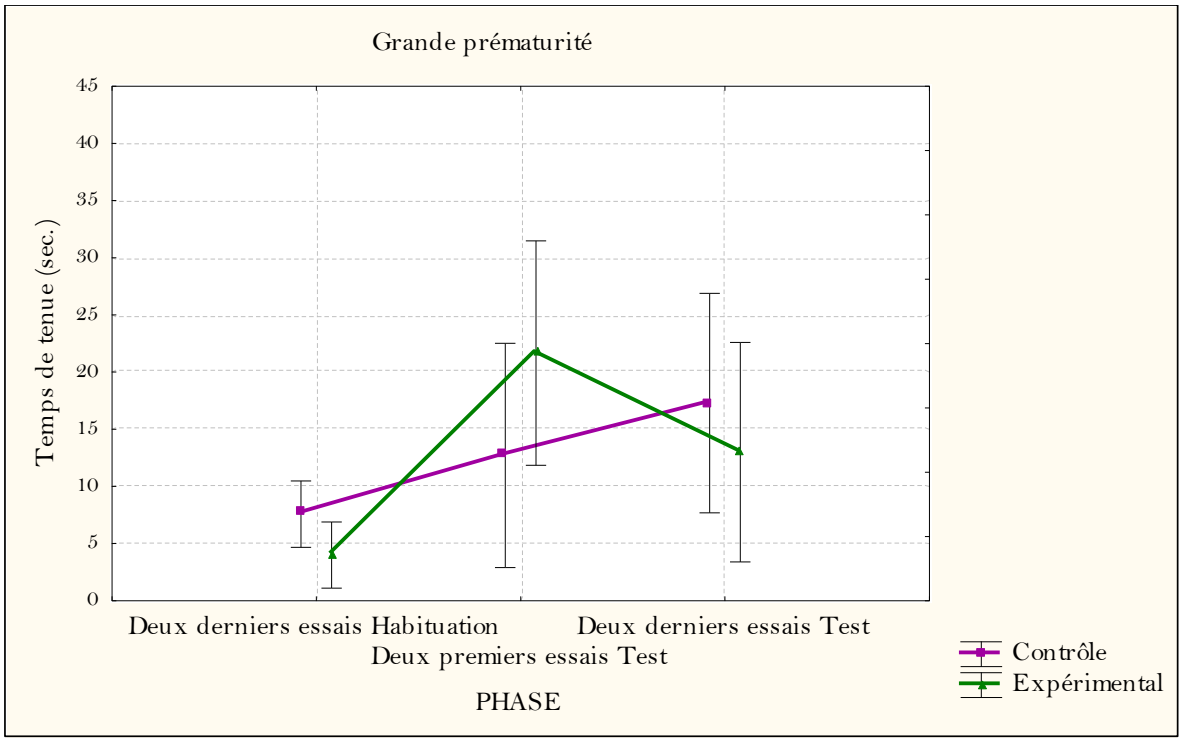

Figure 17 ***Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de moins de 32 SA [étude 2.a]***

Ayant obtenu une réaction à la nouveauté chez le groupe expérimental, nous avons pu étudier la reconnaissance de l'objet familier. Pour cela, une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test) a été conduite sur les temps de tenue. Pour examiner notre hypothèse de reconnaissance après interférence, seule l'interaction Phase × Groupe était analysée. Les résultats révèlent une interaction Phase × Groupe significative ($F(1, 22) = 4{,}62$; $p = 0{,}043$). Pour étudier cette interaction, des comparaisons planifiées ont été réalisées. Chez les enfants du groupe contrôle, les temps de tenue de l'objet familier lors des deux premiers essais de la phase test (M = 12,7 s, ET = 16 s) et lors des deux derniers essais de la phase test (M = 17,3 s, ET = 18,9 s) ne différaient pas significativement ($F(1, 22) = 1{,}106$; $p = 0{,}304$). Le groupe expérimental tenait significativement moins longtemps l'objet familier lors de la phase test (M = 13 s, ET = 12,6 s) que l'objet nouveau présenté préalablement (M = 21,7 s, ET = 16,8 s) ($F(1, 22) = 3{,}95$; $p = 0{,}05$). Ces résultats suggèrent qu'une reconnaissance de l'objet familier existe déjà chez les enfants prématurés âgés de 28 à 31+5 SA.

5.3.3. Etude 2.b : la moyenne prématurité (entre 32 et 34 SA)

5.3.3.1. Phase d'habituation

Tout d'abord, une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais a été observée chez 32 enfants prématurés. Ce résultat atteste de l'existence d'une habituation tactile manuelle chez les enfants prématurés âgés de 32 à 33+6 SA. Parmi ces enfants habitués, on comptait 21 enfants « nouveaux » et 11 enfants déjà testés dans le groupe de grande prématurité (5 habitués, 1 non habitué, 5 dont le test a été arrêté). La Figure 18 présente les profils d'habituation des enfants prématurés des groupes contrôle et expérimental. Ainsi on peut voir que cette diminution des temps de tenue n'était pas linéaire pour certains enfants. On remarque une augmentation importante du temps de tenue à l'essai sept, notamment chez le groupe expérimental. Lorsque l'on s'intéressait aux résultats individuels, on a pu observer que deux enfants du groupe expérimental diminuaient progressivement leur temps de tenue de l'objet au départ, sans obtenir pour autant une habituation, puis exploraient de nouveau l'objet plus longtemps en le tenant soixante secondes (essai 7) et enfin le tenaient de moins en moins longtemps pour finir par s'habituer.

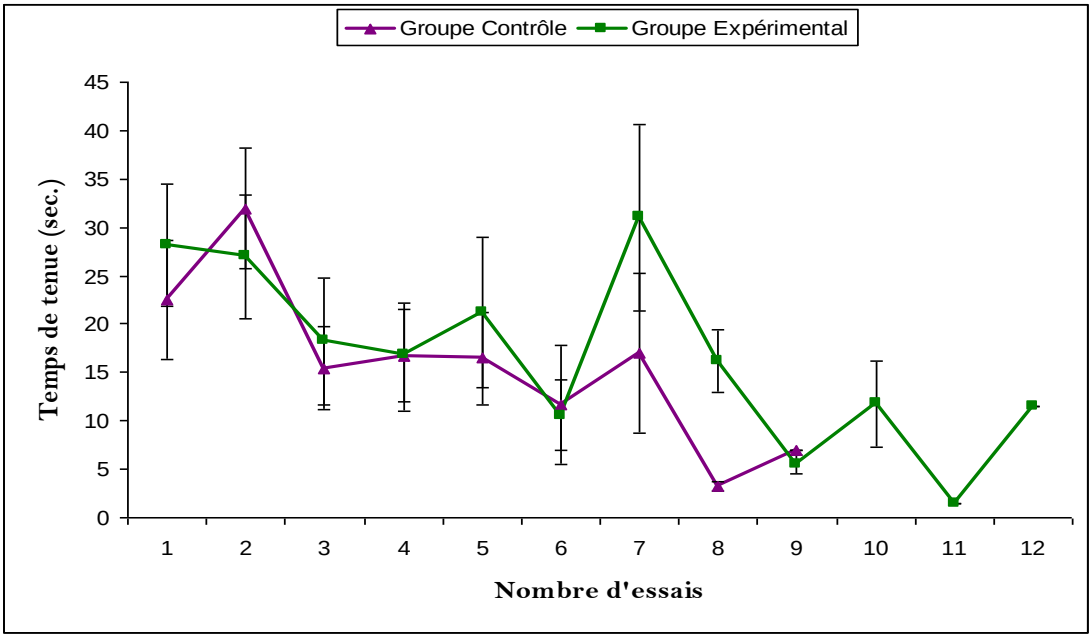

Figure 18 ***Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.b]***

Le Tableau 14 présente les paramètres d'habituation en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation. Afin de vérifier si ces paramètres

d'habituation ne différaient pas en fonction de la forme de l'objet ou du groupe, deux analyses ont été réalisées pour chacun des paramètres de performances et des tests t de Student ont été effectués. La première analyse utilisait le facteur Forme. Aucune différence significative n'a été observée (tous les p > 0,25), ce qui indique que les deux objets étaient tenus de façon équivalente par les enfants prématurés. La deuxième analyse utilisait le facteur Groupe. Aucune différence significative n'a été observée (tous les p > 0,25), ce qui signifie que les groupes contrôle et expérimental se sont habitués de façon similaire.

Groupe	Objet	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Contrôle	Prisme	127,4 (70,1)	64,1 (30,6)	5,6 (2)
	Cylindre	82,4 (38,8)	44,9 (25,2)	5,1 (1,4)
	Total	104,9 (59,4)	54,5 (28,9)	5,4 (1,7)
Expérimental	Prisme	113,6 (94,7)	53,9 (35,6)	6 (2,8)
	Cylindre	131,2 (106,1)	56,4 (39,6)	5,9 (2,6)
	Total	122,4 (97,6)	55,2 (36,4)	5,9 (2,4)
Total		113,7 (80)	54,8 (32,3)	5,7 (2)

Tableau 14 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]***

Le Tableau 15 présente les corrélations Bravais-Pearson réalisées entre les paramètres d'habituation et les caractéristiques générales de l'enfant (âge gestationnel, âge post-natal, âge post-conceptionnel, poids de naissance et poids le jour du test). Les résultats indiquent une corrélation positive approchant la significativité entre le temps de tenue total et l'âge gestationnel (*r* de Pearson = 0,337 ; p = 0,059) et une corrélation négative approchant la significativité entre le temps de tenue total et l'âge post-natal (*r* de Pearson = - 0,336 ; p = 0,060). Cela signifierait que plus l'enfant était né prématurément et de ce fait, plus il avait un âge post-natal élevé dans la tranche d'âge post-conceptionnel de 32 à 34 SA, moins il avait besoin de temps pour s'habituer à l'objet. Cependant, en s'intéressant aux données individuelles, on s'aperçoit que l'enfant né le plus tôt (26+6 SA) et donc le plus âgé (43 jours) présentait un des temps de tenue total les plus courts (42 s) alors que l'enfant né le plus tard (33+5 SA) et donc le plus jeune (1 jour) présentait le temps de tenue total le plus long (364 s). En calculant de nouveau les corrélations sans les données de ces deux enfants, les corrélations pour l'âge gestationnel (*r* de Pearson = 0,135 ; p = 0,476) et l'âge post-natal (*r* de Pearson = - 0,204 ; p = 0,281) n'approchent plus la significativité. Les effets de ces corrélations étaient donc le fait de deux comportements extrêmes d'enfants et non pas d'une

tendance général sur l'ensemble de la population. Il n'y a pas d'autres corrélations significatives entre tous ces facteurs (tous les p > 0,10).

Paramètres	Age gestationnel	Age post-conceptionnel	Age post-natal	Poids de naissance	Poids le jour du test
Temps de tenue total	0,337	0,116	-0,336	0,117	0,076
	p=0,059	**p=0,525**	***p=0,060***	**p=0,524**	**p=0,680**
Temps de tenue des 2 premiers essais	0,141	-0,198	-0,233	0,021	0,005
	p=0,442	**p=0,276**	**p=0,198**	**p=0,908**	**p=0,979**
Nombre d'essais	0,285	0,234	-0,234	0,087	0,006
	p=0,114	**p=0,198**	**p=0,197**	**p=0,637**	**p=0,975**

Tableau 15 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]***

5.3.3.2. Phase test

Nous présenterons d'abord les résultats concernant la discrimination entre un objet nouveau et un objet familier, puis les résultats concernant la reconnaissance d'un objet familier. La Figure 19 présente les profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation et de la phase test en fonction du groupe.

Une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux premiers essais de la phase test) a été conduite sur les temps de tenue. Pour examiner notre hypothèse de discrimination, seule l'interaction du facteur Phase et du facteur Groupe était analysée. Les résultats révèlent une interaction Phase × Groupe significative ($F(1, 30) = 11{,}204$; $p = 0{,}002$). Pour étudier cette interaction, des comparaisons planifiées ont été réalisées. Chez les enfants du groupe contrôle, les temps de tenue de l'objet familier lors de la phase test (M = 12,9 s, ET = 11,4 s) et lors des deux derniers essais d'habituation (M = 5,8 s, ET = 4,5 s) ne différaient pas significativement ($F(1, 30) = 3{,}15$; $p = 0{,}086$) malgré une augmentation tendancielle entre les deux phases. Le groupe expérimental tenait significativement plus longtemps l'objet nouveau (M = 30,9 s, ET = 19,9 s) par rapport aux deux derniers essais d'habituation (M = 4,7 s, ET = 4,2 s) ($F(1, 30) = 42{,}36$; $p < 0{,}001$). Ces résultats suggèrent qu'une réaction à une forme nouvelle est obtenue chez les enfants prématurés âgés de 32 à 33+6 SA.

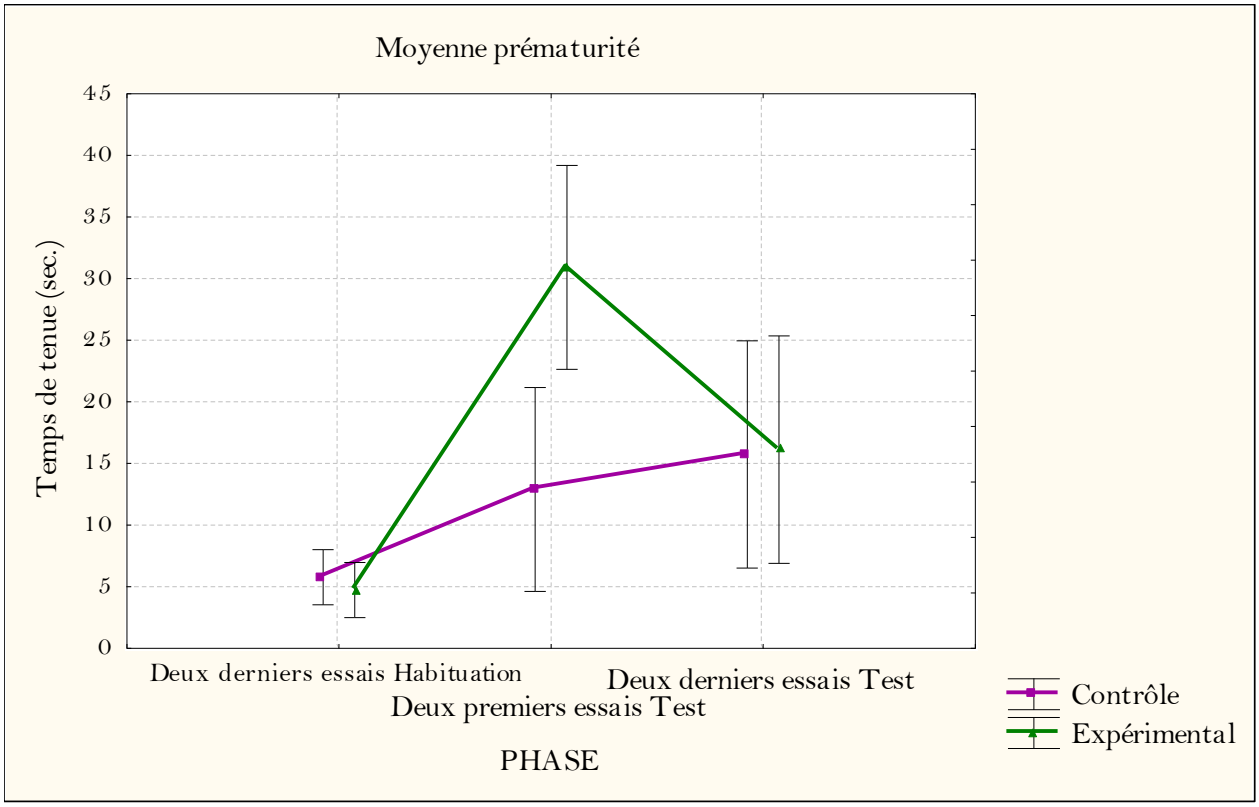

Figure 19 ***Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA [étude 2.b]***

Ayant obtenu une réaction à la nouveauté chez le groupe expérimental, nous avons pu étudier la reconnaissance de l'objet familier. Pour cela, une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue. Pour examiner notre hypothèse de reconnaissance de l'objet familier, seule l'interaction Phase × Groupe était analysée. Les résultats révèlent une interaction Phase × Groupe significative ($F(1, 30) = 4{,}637$; $p = 0{,}039$). Pour étudier cette interaction, des comparaisons planifiées ont été réalisées. Chez les enfants du groupe contrôle, les temps de tenue de l'objet familier lors des deux premiers essais de la phase test (M = 12,9 s, ET = 11,4 s) et lors des deux derniers essais de la phase test (M = 15,7 s, ET = 18,6 s) ne différaient pas significativement ($F(1, 30) = 0{,}24$; $p = 0{,}63$). Le groupe expérimental tenait significativement moins longtemps l'objet familier lors de la phase test (M = 16,1 s, ET = 17,5 s) que l'objet nouveau présenté préalablement (M = 30,9 s, ET = 19,9 s) ($F(1, 30) = 6{,}54$; $p = 0{,}016$). Ces résultats suggèrent qu'une reconnaissance de l'objet familier existe déjà chez les enfants prématurés âgés de 32 à 33+6 SA.

5.3.4. Etude 2.c : la petite prématurité (au-delà de 34 SA)

5.3.4.1. Phase d'habituation

Tout d'abord, une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais a été observée chez 24 enfants prématurés. Ce résultat atteste de l'existence d'une habituation tactile manuelle chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA. Parmi ces enfants habitués, on comptait 8 enfants « nouveaux », 3 enfants déjà testés dans le groupe de grande prématurité (1 habitué, 1 non habitué, 1 dont le test a été arrêté), 7 enfants déjà testés dans le groupe de moyenne prématurité (6 habitués, 1 dont le test a été arrêté) et 6 enfants déjà testés dans les deux précédents groupes (2 enfants sur les 6 se sont habitués dans les 3 groupes, ils feront aussi l'objet d'une analyse individuelle). La Figure 20 présente les profils d'habituation des enfants prématurés des groupes contrôle et expérimental. On peut observer que les enfants du groupe contrôle présentaient une habituation linéaire et rapide alors que les enfants du groupe expérimental présentaient globalement une habituation plus longue avec une augmentation du temps de tenue à l'essai trois, puis une diminution du temps de tenue leur permettant alors de s'habituer à l'objet

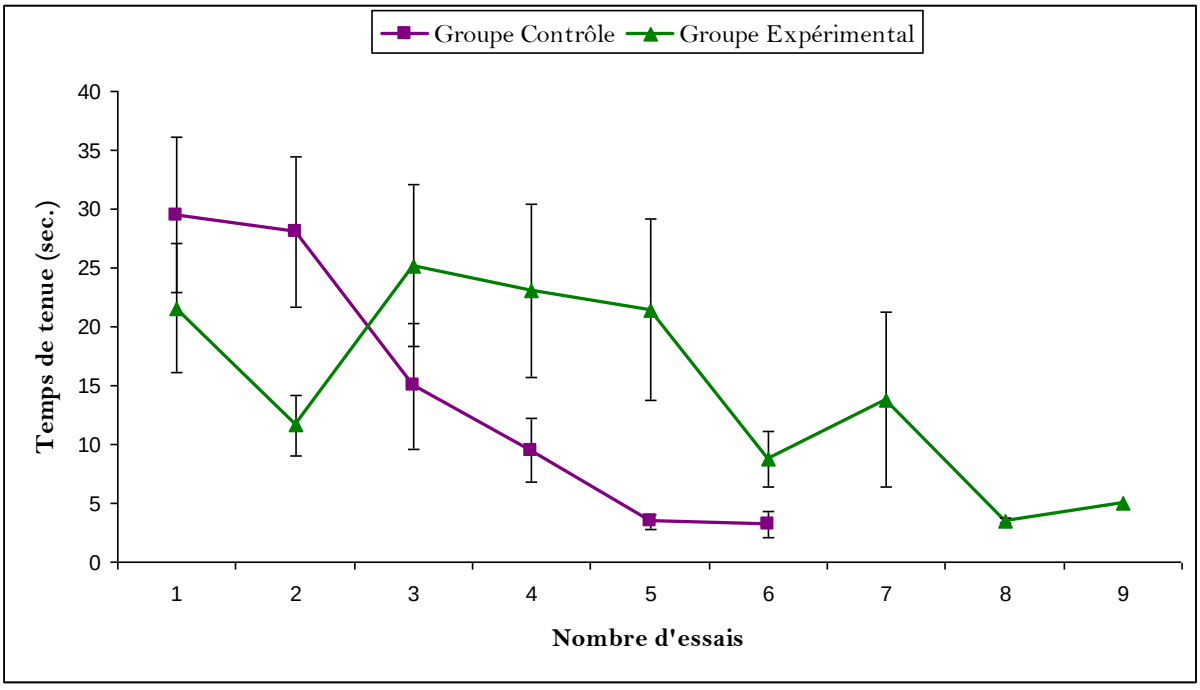

Figure 20 ***Profils d'habituation des enfants prématurés âgés de plus de 34 SA en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) [étude 2.c]***

Le Tableau 16 présente les paramètres d'habituation en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation. Afin de vérifier si ces paramètres d'habituation ne différaient pas en fonction de la forme de l'objet ou du groupe, deux analyses ont été réalisées pour chacun des paramètres de performances et des tests t de Student ont été effectués. La première analyse utilisait le facteur Forme. Aucune différence significative n'a été observée (tous les $p > 0,25$), ce qui indique que les enfants prématurés tenaient les deux objets de façon équivalente. La deuxième analyse utilisait le facteur Groupe : elle a révélé un effet principal du Groupe pour le temps de tenue des deux premiers essais ($t(22) = 2,074$; $p = 0,05$) et pour le nombre d'essais ($t(22) = 2,644$; $p = 0,015$). Ainsi, les enfants prématurés du groupe contrôle tenaient plus longtemps l'objet lors des deux premiers essais de l'habituation (M = 57,5 s, ET = 34,9 s) que le groupe expérimental (M = 33,2 s, ET = 21 s). De plus, le groupe contrôle s'habituait en moins d'essais (M = 4,8 s, ET = 0,9 s) que le groupe expérimental (M = 6,3 s, ET = 1,8 s). Le temps de tenue total ne différait pas significativement entre les deux groupes ($t(22) = 1,103$; $p = 0,282$). Les groupes expérimental et contrôle présentaient donc une habituation qui différait pour deux paramètres de performances de l'habituation sur trois. Cette différence de résultats ne peut pas s'expliquer simplement par le fait que les enfants aient déjà été testés dans les précédents groupes de prématurité ou non. En effet, la répartition de ces enfants est quasi identique dans les deux groupes : dans le groupe contrôle on comptait 4 « nouveaux enfants », 4 enfants testés une seul fois et 4 enfants testés deux fois, dans le groupe expérimental on comptait 4 « nouveaux » enfants, 6 enfants testés une fois et 2 enfants testés deux fois.

Groupe	Objet	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Contrôle	Prisme	89,1 (30,3)	68,7 (37,1)	4,7 (1)
	Cylindre	79,9 (39,9)	46,4 (31,8)	4,8 (0,8)
	Total	84,5 (34,1)	57,5 (34,9)	4,8 (0,9)
Expérimental	Prisme	78,7 (41,4)	27,8 (9,8)	5,7 (1,5)
	Cylindre	142,7 (90,1)	38,5 (28,3)	6,8 (1,9)
	Total	110,7 (74,7)	33,2 (21)	6,3 (1,8)
Total		97,6 (58,4)	45,4 (30,8)	5,5 (1,6)

Tableau 16 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]***

Le Tableau 17 présente les corrélations Bravais-Pearson réalisées entre les paramètres d'habituation et les caractéristiques générales de l'enfant (âge gestationnel, âge post-natal, âge post-conceptionnel, poids de naissance et poids le jour du test). Les résultats

indiquent une corrélation positive approchant la significativité entre le nombre d'essais pour atteindre le critère d'habituation et l'âge post-conceptionnel (*r* de Pearson = 0,390 ; p = 0,060). En d'autres termes, plus les enfants prématurés étaient âgés plus ils avaient besoin d'essais pour atteindre le critère d'habituation. Cependant, en s'intéressant aux données individuelles, on s'aperçoit que les deux enfants les plus âgés (38+1 et 38+3 SA) présentaient tous les deux le nombre d'essais le plus élevé du groupe (8 et 9 essais respectivement). En faisant de nouveau la corrélation sans ces deux enfants, l'effet n'approche plus la significativité (*r* de Pearson = - 0,287 ; p = 0,180) et la corrélation change même de sens. Cette corrélation ne nous apparaît donc pas pertinente. Il n'y a pas d'autres corrélations significatives entre tous ces facteurs (tous les p > 0,10).

Paramètres	Age gestationnel	Age post-conceptionnel	Age post-natal	Poids de naissance	Poids le jour du test
Temps de tenue total	-0,050	0,135	0,091	-0,081	0,116
	p=0,815	**p=0,529**	**p=0,671**	**p=0,707**	**p=0,590**
Temps de tenue des 2 premiers essais	0,164	-0,127	-0,169	-0,017	-0,218
	p=0,443	**p=0,555**	**p=0,429**	**p=0,936**	**p=0,305**
Nombre d'essais	-0,248	0,390	0,337	-0,128	0,339
	p=0,242	**p=0,060**	**p=0,108**	**p=0,551**	**p=0,105**

Tableau 17 ***Corrélations de Bravais-Pearson (r de Pearson et valeur de p) entre les paramètres de l'habituation et les caractéristiques générales les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]***

5.3.4.2. Phase test

Malgré le fait que les deux groupes présentaient une habituation qui différait en partie, nous avons néanmoins souhaité étudier leur capacité de discrimination et ainsi voir si les différences observées en phase d'habituation allaient influer sur la phase test. La Figure 21 présente les profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation et de la phase test en fonction du groupe.

Une ANOVA pour le plan 2 (Groupe : contrôle *vs.* expérimental) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux premiers essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue. Pour examiner notre hypothèse de discrimination, seule l'interaction du facteur Phase et du facteur Groupe était analysée. Les résultats ne révèlent pas d'interaction significative Phase × Groupe ($F(1, 22) = 0,365$; p = 0,552). Avant de conclure à tort à une non-discrimination chez le groupe expérimental, en regardant la Figure 21 on se rend compte, de façon surprenante, que les deux groupes

augmentaient de nouveau leurs temps de tenue de manière équivalente. Nous avons donc analysé l'effet du facteur Phase qui s'avérait être significatif ($F(1, 22) = 33{,}346$; $p < 0{,}001$). Tous les enfants, indépendamment de leur groupe d'appartenance, augmentent leurs temps de tenue entre les deux derniers essais de l'habituation (M = 3,7 s, ET = 2,6 s) et les deux premiers essais de la phase test (M = 22,2 s, ET = 15,6 s), comportement auquel on ne s'attendait pas chez le groupe contrôle.

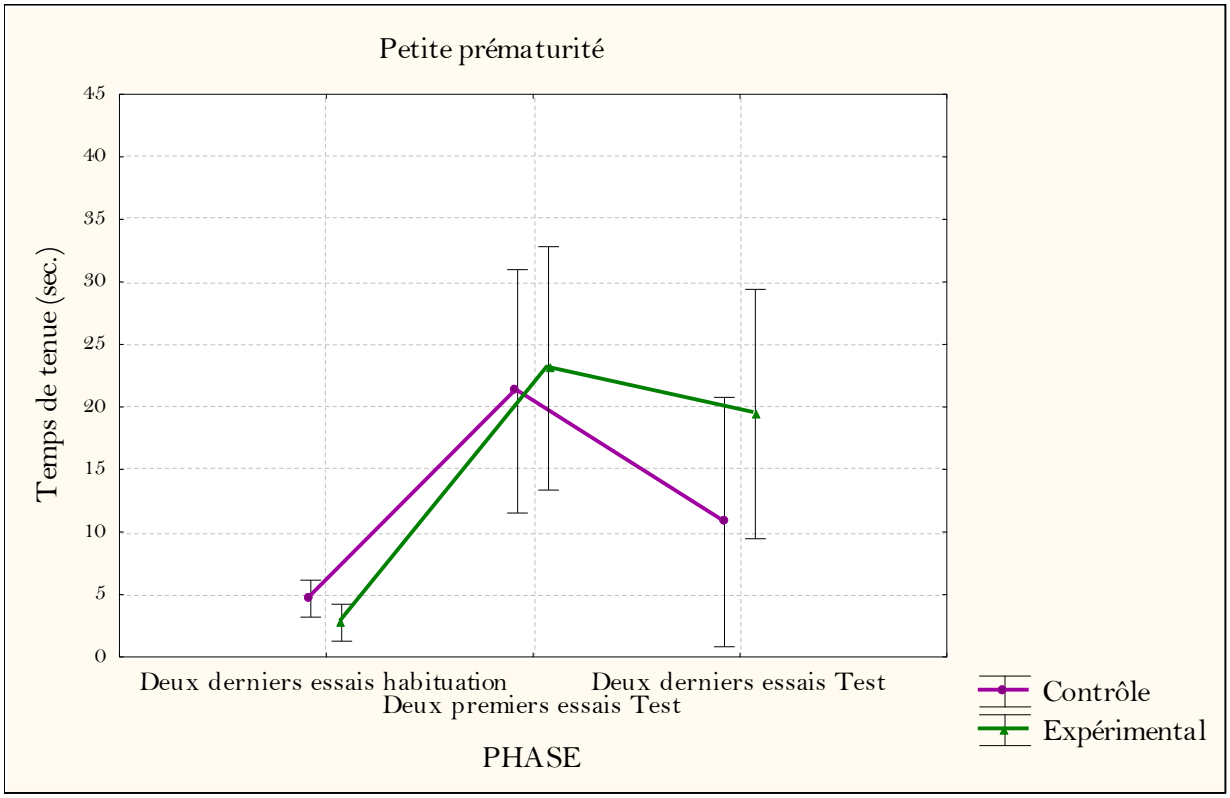

Figure 21 ***Profils de temps de tenue des deux derniers essais d'habituation, des deux premiers essais et des deux derniers essais de la phase test en fonction du groupe (contrôle vs. expérimental) chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA [étude 2.c]***

En reprenant les résultats de l'habituation, on constate que les enfants du groupe contrôle tenaient l'objet significativement plus longtemps que le groupe expérimental, ce qui rendait plus rapide l'atteinte du critère d'habituation et cela se traduisait par un nombre d'essais significativement moins important chez les enfants du groupe contrôle. Une hypothèse plausible serait que ces enfants n'auraient peut-être pas eu une habituation complète. En effet, lors des deux premiers essais de la phase test ils augmentaient leur temps de tenue (M = 21,3 s, ET = 15,9 s) pour parfaire leur habituation et enfin, lors des deux derniers essais de la phase test, leurs temps de tenue diminuaient (M = 10,8 s, ET = 10,8 s) marquant certainement la fin de leur habituation

Pour les raisons énoncées ci-dessus, nous émettons l'hypothèse que les enfants du groupe expérimental auraient, quant à eux, achever leur habituation. Ainsi, au vu des résultats de l'ANOVA avec l'effet significatif du facteur Phase ($F(1, 22) = 33{,}346$; $p < 0{,}001$), nous considérons que ces enfants, en présentant une augmentation de leur temps de tenue entre les deux derniers essais de l'habituation (M = 2,8 s, ET = 1,1 s) et lors de la présentation du nouvel objet (M = 23,1 s, ET = 16,6 s), seraient donc capables de discrimination entre un objet nouveau et un objet familier.

Ayant obtenu une réaction à la nouveauté chez le groupe expérimental, nous avons étudié la reconnaissance de l'objet familier. Etant donné les résultats particuliers du groupe contrôle, nous n'étions pas en mesure de comparer les performances des deux groupes. C'est pour cette raison que nous avons analysé séparément les données du groupe expérimental en étudiant l'effet du facteur Phase (moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test) à l'aide d'un test t de Student. Les résultats ne révèlent pas d'effet significatif du facteur Phase ($t(11) = 0{,}392$; $p = 0{,}703$). Les enfants du groupe expérimental tenaient aussi longtemps l'objet familier lors de la phase test (M = 20,5 s, ET = 5,9 s) que l'objet nouveau présenté préalablement (M = 23,1 s, ET = 16,6 s). Etant donné que Lhote et Streri (1998) ont mis en évidence un effet du sexe chez les enfants de 2 mois, une ANOVA pour le plan 2 (Phase : moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test) × 2 (Sexe : fille vs. garçon) a été réalisée sur les temps de tenue. Les résultats ne révèlent pas d'interaction Sexe × Phase significative pour le groupe expérimental ($F(1,10) = 0{,}382$; $p = 0{,}551$). Ces résultats suggèrent qu'après la présentation d'un nouvel objet, les enfants âgés de plus de 34 SA ne seraient pas capables de reconnaître l'objet avec lequel ils avaient été préalablement habitués, indépendamment de leur sexe.

5.3.5. Effet de la prématurité : analyse transversale entre les groupes d'âge

Existe-t-il des différences quantitatives entre les différents groupes d'âge post-conceptionnel sur les performances d''habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance de l'objet familier ? C'est la question à laquelle nous avons tenté de répondre grâce à une analyse transversale. Afin de ne pas biaiser l'analyse par de potentiels effets d'apprentissage préalable, nous n'avons comparé que les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours (N = 53), c'est-à-dire seulement les enfants « nouveaux » habitués. L'analyse transversale comprenait 24 enfants du groupe de grande prématurité, 21 enfants du groupe de moyenne prématurité et 8 enfants du groupe de petite prématurité.

5.3.5.1. Phase d'habituation

Le Tableau 18 présente les paramètres d'habituation en fonction du groupe de prématurité. Afin d'étudier l'influence potentielle de la plus ou moins grande prématurité sur les paramètres de performances de l'habituation, une ANOVA a été réalisée avec le facteur Prématurité (grande *vs* moyenne *vs* petite) pour chacun des paramètres de l'habituation. Les résultats ne révèlent aucune différence significative. Le temps de tenue total ($F(1, 52) = 0{,}372$; $p = 0{,}691$), le temps de tenue des deux premiers essais ($F(1, 52) = 0{,}045$; $p = 0{,}956$) et le nombre d'essais moyen ($F(1, 52) = 0{,}588$; $p = 0{,}559$) ne seraient pas influencer par la plus ou moins grande prématurité.

Groupe de prématurité	Effectif	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Grande < 32SA	24	109,8 (77,5)	56,7 (31,6)	5,6 (1,8)
Moyenne 32-34 SA	21	124,4 (86,3)	57,5 (32,4)	5,9 (2,2)
Petite > 34 SA	8	97,2 (80,3)	53,4 (34,9)	5,1 (1,1)

Tableau 18 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction du groupe de prématurité (grande vs. moyenne vs. petite) chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours (N = 53) [étude 2]***

5.3.5.2. Phase test

Afin d'étudier l'influence de la plus ou moins grande prématurité sur la réaction à la nouveauté, nous nous sommes intéressés à l'augmentation du temps de tenue entre les deux derniers essais de l'habituation et les deux premiers essais de la phase tests avec l'objet nouveau observée dans les trois groupes de prématurité chez le groupe expérimental (N = 28). La Figure 22 présente les profils de réaction à la nouveauté pour chacun des trois groupes de prématurité. Une ANOVA pour le plan 3 (Prématurité : grande *vs* moyenne *vs* petite) × 2 (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux premiers essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue du groupe expérimental. Les résultats révèlent un effet significatif du facteur Phase ($F(1,25) = 29,82$; $p < 0.001$) confirmant l'existence d'une réaction à la présentation d'une nouvelle forme chez tous les enfants prématurés. Cependant, les résultats ne révèlent pas d'effet significatif du facteur Prématurité ($F(2, 25) = 1,765$; $p = 0,192$) ni d'interaction significative Phase × Prématurité ($F(2, 25) = 1,159$; $p = 0,330$). L'augmentation du temps de tenue induite par la présentation d'un nouvel objet n'a pas été influencée par la plus ou moins grande prématurité.

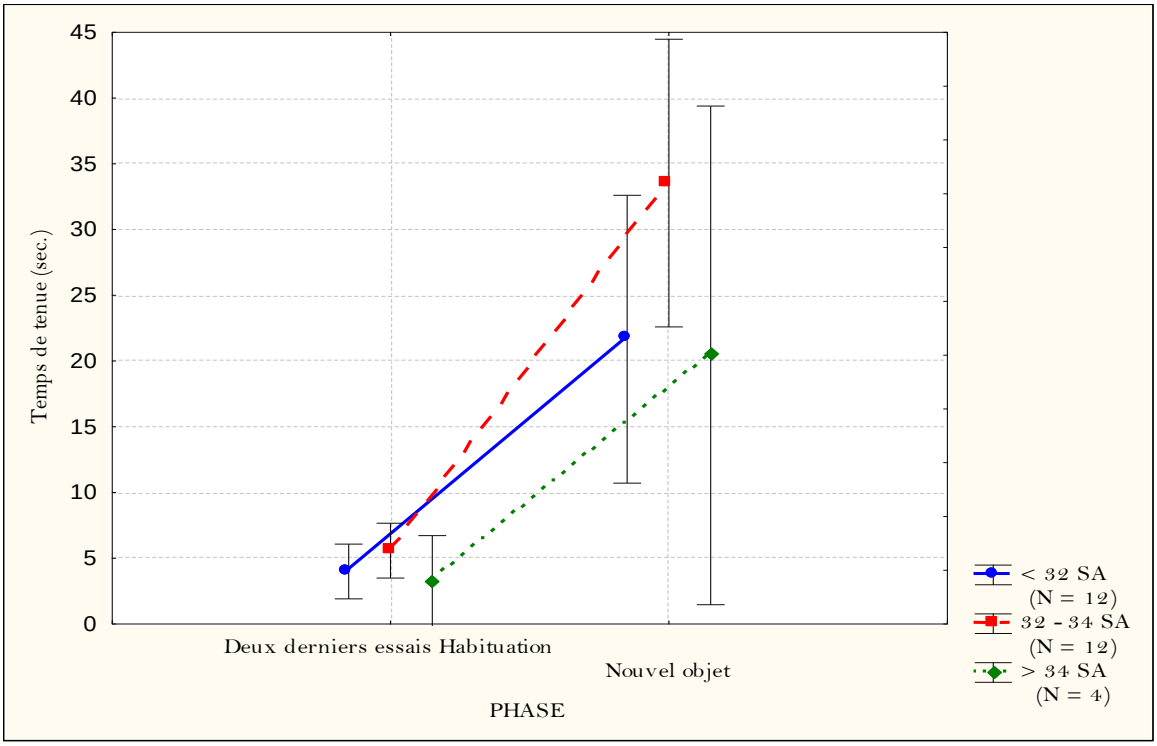

Figure 22 ***Comparaison des profils de réaction à la nouveauté entre les trois groupes de prématurité (grande vs. moyenne vs. petite) chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours et appartenant au groupe expérimental (N = 28) : temps de tenue des deux derniers essais d'habituation et des deux premiers essais de la phase test avec le nouvel objet [étude 2]***

Ensuite, afin d'étudier l'influence de la plus ou moins grande prématurité sur la reconnaissance de l'objet familier, nous nous sommes intéressés à la diminution des temps de tenue entre les deux premiers essais de la phase test avec le nouvel objet et les deux derniers essais de la phase test avec l'objet familier dans deux des trois groupes de prématurité chez le groupe expérimental (N = 24). En effet, nous n'avons pas inclus le groupe de petite prématurité dans cette analyse vu que les résultats de ce groupe suggéraient qu'après la présentation d'un nouvel objet, les enfants âgés de plus de 34 SA ne seraient pas capables de reconnaître l'objet avec lequel ils avaient été préalablement habitués. La Figure 23 présente les profils de reconnaissance de l'objet familier pour les groupes de grande et moyenne prématurité.

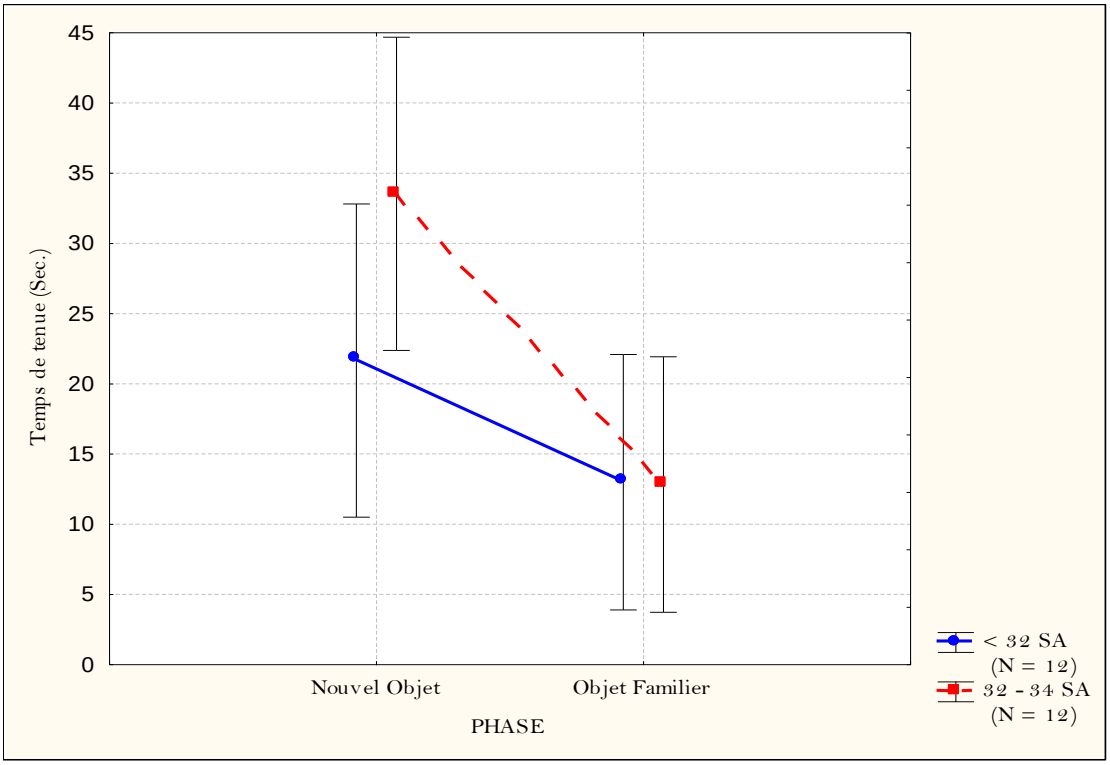

Figure 23 ***Comparaison des profils de reconnaissance de l'objet familier entre les groupes de grande et moyenne prématurité chez les enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours et appartenant au groupe expérimental (N = 24) : temps de tenue de la phase test des deux premiers essais avec le nouvel objet et des deux derniers essais avec l'objet familier [étude 2]***

Une ANOVA pour le plan 2 (Prématurité : grande *vs* moyenne) × 2 (Phase : moyenne des deux premiers essais de la phase test *vs.* moyenne des deux derniers essais de la phase test) a été réalisée sur les temps de tenue du groupe expérimental. Les résultats révèlent un effet significatif du facteur Phase ($F(1,22) = 12{,}898$; $p = 0.002$) confirmant l'existence d'une reconnaissance de l'objet familier chez les enfants appartenant aux groupes de grande et moyenne prématurité. Cependant, les résultats ne révèlent pas d'effet significatif du facteur

Prématurité ($F(1, 22) = 1{,}090$; $p = 0{,}308$) ni d'interaction significative Phase × Prématurité ($F(1, 22) = 2{,}167$; $p = 0{,}155$). La reconnaissance de l'objet familier après la présentation d'un nouvel objet n'a pas été influencée par la grande ou moyenne prématurité.

5.3.6. Effet de la prématurité : analyse longitudinale entre les groupes d'âge

Un des objectifs de cette étude était de suivre les enfants de manière longitudinale dans chaque groupe d'âge afin de vérifier si un enfant testé plusieurs fois avec un délai minimum de 24 heures entre deux tests (trois tests maximum) ne présentera pas de mémoire haptique des tests précédents (i.e. un effet d'apprentissage). En d'autres termes, en comparant les données des enfants suivis depuis le groupe de grande prématurité jusqu'à celui de petite prématurité, nous nous attendions aux mêmes résultats que ceux de l'étude transversale.

Bien qu'ayant testé de nombreux enfants de nombreuses fois, la réalité de cette étude est qu'au final nous n'avons pu suivre que six enfants sur les quarante inclus dans le groupe de grande prématurité. Sur ces six enfants suivis dans les trois groupes d'âge, seulement deux d'entre eux se sont habitués dans les trois groupes. Cet effectif de deux enfants est plus qu'insuffisant pour répondre à la question initialement posée sur l'effet d'apprentissage dû à l'existence d'une mémoire haptique à long terme.

Phase	Résultats	Population générale	< 32 SA	32 – 34 SA	> 34 SA	Transversale
Habituation	Non habitués (N)	6	2	2	2	NS
	Habitués (N)	80	24	32	24	
	Effet du facteur Forme		Temps de tenue total (cylindre > prisme)	NS	NS	
	Effet du facteur Groupe		NS	NS	Temps de tenue des 2 premiers essais (contrôle > expérimental) Nombre d'essais (contrôle < expérimental)	
	Corrélations	Négative (temps de tenue des 2 premiers essais et âge post-natal)	NS	NS	NS	
Test	Discrimination		OUI	OUI	NS	NS
	Interaction Phase × Groupe				OUI	
	Analyse groupe expérimental seul					
	Reconnaissance		OUI	OUI		NS
	Interaction Phase × Groupe					
	Analyse groupe expérimental seul				NS	

Tableau 19 ***Tableau récapitulatif des résultats de l'étude 2***

5.4. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'effet du degré de prématurité sur le traitement intra-main de la forme des objets. Pour ce faire, nous avons étudié les compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet chez trois grands groupes de prématurité. Le Tableau 19 récapitule les principaux résultats de cette étude

Premièrement, sur l'ensemble de la population (N = 81), six enfants n'ont pas réussi à atteindre le critère d'habituation sans raison avérée. En effet, ces enfants présentaient les bonnes conditions d'éveil, cela n'était pas non plus dû au groupe de prématurité (deux dans chaque groupe d'âge), ni à la forme de l'objet présenté (trois habituations avec le prisme et trois avec le cylindre), quatre de ces enfants ont été testés dans au moins une autre tranche d'âge et ont tous présenté une habituation réussie. Enfin, la recherche de troubles ou déficits communs n'a rien révélé. Par ailleurs, les résultats ont mis en évidence une corrélation négative approchant la significativité entre le temps de tenue des deux premiers essais et l'âge post-natal. Il semblerait que les enfants prématurés ayant une expérience ex utero plus courte tiennent plus longtemps l'objet lors des deux premiers essais de l'habituation. Par contre, l'âge post-natal ne semble pas influencer les deux autres paramètres de l'habituation, en d'autres termes la durée du processus d'habituation. Cet effet étant tendanciel et le coefficient de corrélation faible, nous resterons donc prudents sur l'interprétation de ce résultat.

Deuxièmement, chez les enfants appartenant au groupe de grande prématurité, une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais a été observée chez 24 enfants prématurés. Les grands prématurés dès l'âge de 28 SA à moins de 10 jours de vie (une semaine en moyenne) sont déjà capables d'habituation tactile manuelle. Cependant, un effet principal de la forme a été observé pour un seul des trois paramètres d'habituation : les enfants prématurés tiennent plus longtemps le cylindre que le prisme sur l'ensemble de l'habituation, tandis que le temps de tenue des deux premiers essais et le nombre d'essais ne sont pas affectés par la forme. Vu que cet effet n'a pas été retrouvé chez les enfants plus âgés, une explication possible serait que le prisme, possédant des arêtes, pourrait être moins agréable à explorer dans les mains des plus petits, ce qui engendrerait une préférence des enfants de cette tranche d'âge pour le cylindre sans pour autant entraver leur capacité d'habituation tactile. Après habituation, quand une nouvelle forme d'objet est mise dans la main de l'enfant prématuré, leur temps de tenue augmente. Ce résultat révèle pour la

première fois que les nouveau-nés prématurés sont capables de discrimination manuelle entre un prisme et un cylindre dès 28 SA. De plus, après présentation du nouvel objet, lorsque l'objet familier est à nouveau présenté à l'enfant, le temps de tenue diminue et ne diffère plus du temps de tenue du groupe contrôle auquel aucun objet nouveau n'a été présenté. Ces résultats suggèrent qu'une reconnaissance de l'objet familier existe déjà chez les enfants prématurés âgés de 28 à 31+5 SA. De manière générale, l'ensemble de ces résultats comportementaux va dans le sens des résultats obtenus en neuroimagerie sur la maturité du sens tactile dès 28 SA (Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz, & Anand, 2006; Milh et al., 2007)

Troisièmement, chez les enfants appartenant au groupe de moyenne prématurité, une habituation tactile manuelle est obtenue chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA. A la suite ce cette habituation, les enfants augmentent leur temps de tenue en présence d'un nouvel objet mettant en évidence leur capacité de discrimination manuelle entre un prisme et un cylindre. Ces résultats sont cohérents avec ceux précédemment obtenus chez des enfants âgés en moyenne de 33+5 SA (Lejeune et al., 2010). De plus, après présentation du nouvel objet, lorsque l'objet familier est à nouveau présenté à l'enfant, le temps de tenue diminue et ne diffère plus du temps de tenue du groupe contrôle auquel aucun objet nouveau n'a été présenté. La reconnaissance de l'objet familier mise en évidence dès 28 SA perdure chez les enfants prématurés âgés de 32 à 34 SA.

Quatrièmement, chez les enfants appartenant au groupe de petite prématurité, une habituation tactile manuelle est obtenue chez les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA. Toutefois, un effet principal du groupe a été observé pour deux paramètres de performances de l'habituation sur trois. Les enfants prématurés du groupe contrôle tenaient plus longtemps l'objet lors des deux premiers essais de l'habituation que le groupe expérimental et par conséquent, atteignaient le critère d'habituation en moins d'essais. Cette différence de résultats ne peut pas s'expliquer par le fait que les enfants aient déjà été testés dans les précédents groupes de prématurité car la répartition est quasi identique dans les deux groupes. Nous faisons l'hypothèse que les enfants du groupe contrôle n'auraient peut-être pas eu une habituation complète. Les résultats de la phase test vont dans ce sens. Tout d'abord, les deux groupes, indépendamment de la nature de l'objet présenté (nouveau *vs.* familier), augmentent leurs temps de tenue lors des deux premiers essais de la phase test, comportement auquel on ne s'attendait pas chez le groupe contrôle. Ensuite, lors des deux essais suivants, le groupe contrôle diminue son temps de tenue marquant probablement la fin de l'habituation. Au vu de ces résultats, nous avions analysé les données du groupe expérimental seul. Le groupe expérimental en augmentant son temps de tenue à la

présentation de l'objet nouveau serait donc capable de discriminer un objet nouveau d'un objet familier. Cependant, ces enfants ne présentent pas de reconnaissance de l'objet familier. Cet effet n'est pas influencé par le sexe comme cela avait été montré chez les enfants de 2 mois où seules les filles présentaient une reconnaissance de l'objet familier de la main gauche Ces résultats suggèrent qu'après la présentation d'un nouvel objet, les enfants âgés de plus de 34 SA ne seraient pas capables de reconnaître l'objet avec lequel ils avaient été préalablement habitués. Les résultats particuliers de ce groupe d'âge mettent en évidence des différences qualitatives entre le groupe de petite prématurité et les deux autres groupes. Cet échec de reconnaissance de l'objet familier après interférence du nouvel objet est assez surprenant dans la mesure où les enfants prématurés des deux autres groupes d'âge qui sont plus jeunes, réussissent. Plusieurs explications peuvent être avancées. La première serait que les enfants de plus de 34 SA sont plus matures notamment au niveau de la motricité. Donc le fait qu'il n'arrive pas à reconnaître l'objet familier après interférence remettrait en question les compétences des deux autres groupes : les enfants plus jeunes diminueraient leur temps de tenue non pas parce qu'ils reconnaissent l'objet familier mais parce qu'ils présentent une fatigue motrice (Dalla Piazza, 1997). Cette première hypothèse pourrait être testée chez les grands et moyens prématurés en introduisant un troisième groupe d'enfants qui seraient exactement dans les mêmes conditions que le groupe expérimental sauf qu'en phase test, lors des deux derniers essais, on leur présenterait un troisième objet nouveau. Si l'hypothèse de la fatigue motrice est la bonne, les enfants de ce groupe re-diminueront leur temps de tenue malgré l'introduction d'un nouvel objet. Une seconde explication serait que l'absence de la diminution du temps de tenue lors des deux derniers essais avec l'objet familier ne signifierait pas forcément que ces enfants ne reconnaissent pas l'objet. Ces enfants étant plus matures, peut-être qu'en leur représentant l'objet familier ils prélèveraient d'autres informations sur cet objet. Enfin, la troisième explication serait que les enfants prématurés arrivent à reconnaître un objet familier dès 28 SA jusqu'à 34 SA et qu'à partir de 34 SA ils n'en soient plus capables au profit de nouvelles compétences nécessaires à ce moment de leur développement. Une étude identique chez des enfants prématurés ayant atteints l'âge du terme pourrait apporter quelques éléments de réponse. Nous n'avons pas pu la conduire dans cette étude car la majorité des enfants de cet âge étaient déjà sortis du service de néonatologie. Ce qui est certain, c'est que nous n'avons pas à l'heure actuelle les éléments théoriques et expérimentaux nécessaires pour répondre à ces questions. Quelle que soit l'explication, ce résultat nécessiterait une étude plus approfondie pour comprendre ce qu'il se passe réellement dans ce groupe.

Cinquièmement, quand les mêmes compétences étaient mises en évidence dans chacun des groupes d'âge, nous avons comparé les performances des enfants ayant été testés pour la première fois dans leurs dix premiers jours dans une analyse transversale afin d'étudier l'influence du degré de prématurité. L'analyse transversale comparant les trois groupes de prématurité n'a mis en évidence aucune différence quantitative sur les performances d''habituation et de réaction à la nouveauté. De plus, l'analyse transversale limitée aux deux premiers groupes de prématurité (grande et moyenne) n'a révélé aucune différence quantitative sur les performances de reconnaissance de l'objet familier. Le degré de prématurité n'influerait donc pas à un niveau quantitatif pour le traitement intra-main de la forme des objets contrairement à ce qui a pu être observé pour le toucher passif (Fearon, Hains, Muir, & Kisilevsky, 2002). Cependant, ces auteurs utilisant l'enregistrement de la fréquence cardiaque pour caractériser la maturation de la sensibilité tactile, leurs résultats seraient surtout le reflet d'une maturation progressive du système cardiaque en réponse à une stimulation tactile. Le suivi longitudinal n'a pas pu être réalisé sur un nombre suffisant d'enfants pour répondre à la question initialement posée sur l'effet d'apprentissage dû à l'existence d'une mémoire haptique à long terme. En effet, la réalité expérimentale est que la régularité de l'accès au service, la disponibilité des enfants, leurs éventuels transferts rendent très compliquée la réalisation d'un suivi longitudinal en période néonatale.

En conclusion, les enfants âgés de 28 à 34 SA présentent des compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Quant aux enfants âgés de plus de 34 SA, les résultats suggèrent l'existence d'une habituation tactile et d'une réaction à la nouveauté mais une absence de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Les résultats particuliers de ce groupe d'âge mettent en évidence des différences qualitatives entre le groupe de petite prématurité et les deux autres groupes. L'analyse transversale ne révèle aucune différence quantitative entre les trois groupes. D'autres études seront nécessaires pour mieux comprendre les différences observées dans le groupe âgés de plus de 34 SA. Nous avons mis en évidence que les enfants prématurés présentaient très tôt de nombreuses compétences tactiles lors d'un traitement intra-main de la forme des objets. Seraient-ils aussi capables de transférer des informations de forme d'une main à l'autre malgré l'immaturité du corps calleux ?

Encadré 4 : résumé de l'étude 2

Introduction : L'étude de l'influence de la plus ou moins grande prématurité sur la capacité des enfants à répondre à une stimulation sensorielle a déjà été mise en évidence dans d'autres modalités, notamment en audition et en vision. Dans la modalité tactile (toucher passif), Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002) mettent en évidence une maturation progressive des systèmes physiologique et moteur entre 30 et 40 SA en réponse à une stimulation tactile. L'influence du degré de prématurité sur la perception tactile manuelle (toucher actif) des nouveau-nés prématurés reste inexplorée. De plus, nous avons déjà montré que les nouveau-nés prématurés âgés de 33 à 34+6 SA sont capables d'habituation et de discrimination tactile entre deux objets de formes différentes avec la main droite ou gauche Mais ces données ne nous disent pas si cet encodage résiste à une interférence (présentation d'un nouvel objet). Des études ont montré qu'il existe une réelle mémoire de reconnaissance haptique après interférence dès l'âge de 2 mois chez des enfants nés à terme (Lhote & Streri, 1998, 2003), même si celle-ci reste fragile. Existe-t-il déjà mémoire haptique à court terme après interférence chez les enfants prématurés ? L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'effet du degré de prématurité sur les compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence (suite à la présentation du nouvel objet) chez trois grands groupes de prématurité.

Méthodologie: Quatre-vingt-un enfants prématurés (37 filles et 44 garçons) ont participé à l'expérience. Nous avons stratifié cette population par tranche d'âge post-conceptionnel en trois groupes : un groupe de moins de 32 SA (grande prématurité), un groupe de 32 à 34 SA (moyenne prématurité) et un groupe de plus de 34 SA (petite prématurité). Pour être inclus dans cette étude, les enfants prématurés devaient être testés dans leurs dix premiers jours de vie. Une fois les enfants inclus dans l'étude, les grands et moyens prématurés pouvaient être testés dans les autres groupes d'âge quand ils atteignaient l'âge post-conceptionnel d'intérêt. Lors de la phase d'habituation, le prisme était présenté à la moitié des enfants (N = 12) et le cylindre à l'autre moitié (N = 12) dans leur main gauche. Lors de la phase test, les enfants habitués étaient répartis en deux groupes : un groupe contrôle à qui était présenté quatre fois l'objet familier et un groupe expérimental à qui était présenté deux fois l'objet nouveau puis deux fois l'objet familier.

Résultats : Après présentations successives d'un même objet, nous avons observé une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais chez presque tous les enfants prématurés. Seuls six enfants ne sont pas habitués. De plus, chez les enfants habitués, une augmentation significative du temps de tenue était obtenue lors de la présentation de l'objet nouveau dans tous les groupes d'âges. Ensuite, après présentation du nouvel objet, lorsque l'objet familier est à nouveau présenté à l'enfant, le temps de tenue diminue chez les enfants grands et moyens prématurés, mais pas chez les enfants

appartenant au groupe de petite prématurité. Enfin, l'analyse transversale ne montre aucune différence quantitative significative entre les trois groupes d'âge.

Conclusion : Les enfants âgés de 28 à 34 SA présentent des compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Quant aux enfants âgés de plus de 34 SA, les résultats suggèrent l'existence d'une habituation tactile et d'une réaction à la nouveauté mais une absence de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Les résultats particuliers de ce groupe d'âge mettent en évidence des différences qualitatives entre le groupe de petite prématurité et les deux autres groupes. Aucune différence quantitative des performances d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence n'a été mise en évidence entre les trois groupes de prématurité.

CHAPITRE 6. TRANSFERT INTER-MAIN DE LA FORME CHEZ LES ENFANTS PREMATURES AGES DE 33 A 34+6 SA (étude 3)

Cette étude fait l'objet d'un manuscrit en révision : Lejeune, F., Marcus, L., Audeoud, F., Streri, A., Debillon, T., & Gentaz, E. Inter-manual transfer of shapes in preterm human infants from 33 to 34+6 post-conceptional age. *Child Development.*

Cette étude s'intéresse au transfert inter-main de la forme chez les enfants prématurés. Le transfert inter-main est la capacité d'un individu à reconnaître qu'un objet déjà exploré par une main est le même que celui présenté dans l'autre main. Ce transfert reflète la capacité de l'individu à mémoriser de l'information sur un objet, à la maintenir en mémoire et à la comparer avec l'information obtenue dans la main opposée. Un transfert d'informations entre les deux hémisphères cérébraux est nécessaire afin d'effectuer cette comparaison (Fabri et al., 2001). Cette capacité est présente chez les adultes et les enfants mais à partir de quel âge émerge-t-elle ? Récemment, Sann et Streri (2008) utilisent la procédure d'habituation / réaction à la nouveauté chez 24 nouveau-nés à terme âgés de 2 jours afin d'étudier leur capacité à traiter et échanger des informations de forme (expérience 2) entre leurs mains, sans contrôle de la vision. Les résultats montrent que les nouveau-nés à terme présentent une préférence pour l'objet familier lors de la phase test et non une préférence pour le nouveau comme on pourrait s'y attendre dans ce type de procédure (Soroka, Corter, & Abramovitch, 1979). Dans cette même étude, les auteurs retrouvent, à l'inverse, une préférence pour la nouvelle texture dans la main opposée (expérience 1). Cette divergence de préférence selon la propriété de l'objet lors d'un transfert inter-main s'expliquerait, selon les auteurs, par la nécessité d'un traitement plus élaboré dans le cas de la forme. La présence d'une différence significative de temps de tenue entre le nouvel objet et le familier indique que les nouveau-nés discriminent bien les deux objets, attestant de l'existence d'un transfert inter-main de la forme indépendamment du sens de transfert (main gauche vers main droite ou inversement) et ce, malgré l'immaturité du corps calleux.

La fonction principale du corps calleux est de relier les aires corticales homologues entre elles et ainsi permettre l'intégration inter-hémisphérique et le transfert d'informations (Bloom & Hynd, 2005; pour une revue, Gazzaniga, 2000). Des études en neuroimagerie menées chez l'adulte ont montré que le transfert d'informations tactiles repose sur l'intégrité de la partie postérieure du corps calleux (Fabri et al., 2005; Fabri et al., 2001). De plus, la

présence des fibres composant le corps calleux a été mise en évidence dès 28 SA (Huppi et al., 1998). Etant donné que le corps calleux est plus immature chez les prématurés que chez les nouveau-nés à terme (Anderson, Laurent, Woodward, & Inder, 2006) et que la grande prématurité (avant 33 SA) pourrait être associée à des lésions cérébrales périnatales incluant le corps calleux (Kontis et al., 2009), la question de la capacité du transfert inter-manuel des informations de forme chez les nouveau-nés prématurés se pose.

6.1. OBJECTIF ET HYPOTHESE

L'objectif principal de cette expérience était d'étudier la capacité des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme d'objet avec une main et détecter une différence de forme avec l'autre main. Nous avons déjà montré que les nouveau-nés prématurés de la même tranche d'âge post-conceptionnel sont capables d'habituation et de discrimination tactile entre deux objets de formes différentes, que ce soit avec la main droite ou avec la main gauche (Lejeune et al., 2010). Par ailleurs, ces performances ne sont pas influencées par la main testée, la forme de l'objet et les antécédents médicaux. Nous avons réalisé une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, sans contrôle visuel. Après habituation à un objet (prisme ou cylindre) dans une main (droite ou gauche), la moitié des enfants recevait l'objet familier puis le nouvel objet et l'autre moitié recevait le nouvel objet puis le familier dans la main opposée. Tout d'abord, nous nous attendions à confirmer les résultats de l'étude 1 en observant une habituation tactile manuelle chez les nouveau-nés prématurés entre 33 et 34+6 SA De plus, après habituation, si les enfants étaient en mesure de transférer des informations sur la forme des objets, nous nous attendions à obtenir une différence significative du temps de tenue entre l'objet nouveau et l'objet familier.

6.2. METHODE

6.2.1. Participants

Vingt-quatre enfants prématurés (13 filles et 11 garçons) ont participé à l'expérience. À la naissance, l'âge gestationnel moyen était de 30 semaines et 2 jours (de 26+3 à 33+4 SA) et le poids moyen était de 1419 g. (de 800 à 2265 g.). Le jour de l'expérience, la moyenne d'âge post-conceptionnel était de 34+3 SA (de 33 à 34+6 SA), la moyenne d'âge post-natal était de 702 heures (de 216 à 1320 heures), soit environ 29 jours (de 9 à 55 jours) et le poids moyen était de 1752 g. (de 1180 à 2190 g.).

6.2.2. Procédure

La procédure et ses conditions de passation ont été précédemment décrites dans le *Chapitre 1. Méthodologie générale.* Néanmoins, nous allons apporter quelques précisions méthodologiques spécifiques à cette étude. **Avant de commencer l'expérience**, l'expérimentateur 1 installait l'enfant prématuré en remontant l'enfant dans son cocon pour surélever légèrement sa tête, de la même manière que lors de l'étude 1. **Lors de la phase d'habituation**, l'objet était présenté à la moitié des enfants (N = 12) dans la main droite et à l'autre moitié (N = 12) dans la main gauche. Ainsi, deux groupes ont été formés en fonction de la main dans laquelle l'objet était placé au cours de la phase d'habituation. Deux sous-groupes ont ensuite été créés en fonction de la forme de l'objet utilisé au cours de cette même phase. Les enfants ont été assignés aléatoirement à chacun de ces quatre groupes. Chaque groupe comprenait six enfants prématurés. **Lors de la phase test**, une fois le bébé habitué à un objet (objet familier), on présentait dans la main opposée un objet de forme nouvelle pendant deux essais et l'objet familier pendant deux autres essais. L'ordre de présentation des objets était contrebalancé entre les enfants : Nouveau-Familier (ordre 1 ; N = 12) et Familier-Nouveau (ordre 2 ; N = 12). Lors du traitement intra-main, la discrimination était évaluée en comparant la moyenne des temps de tenue des deux derniers essais de la phase d'habituation et la moyenne des temps de tenue de l'objet nouveau / familier lors des deux essais de la phase. Dans cette étude, étant donné que la phase d'habituation et la phase test n'impliquaient pas la même main, le changement de main pourrait être un facteur confondant induisant un biais dans les analyses. L'hypothèse de discrimination lors d'un transfert inter-

main se situerait plutôt dans un traitement différentiel de l'objet nouveau et familier dans la main opposée, comme cela a été mis en évidence chez les nouveau-nés à terme (Sann & Streri, 2008). Ainsi, nous avons défini le critère de discrimination suivant : la discrimination était obtenue lorsque les temps de tenue de l'objet nouveau et de l'objet familier différaient significativement lors des essais de la phase test. Cependant, nous avons conduit une seconde analyse similaire à celle du traitement intra-main afin d'évaluer en quoi le changement de main pouvait influencer la discrimination.

6.2.3. Analyses statistiques

Lors de la phase d'habituation, afin de vérifier si les paramètres de performances pouvaient être affectés par la main testée ou la forme de l'objet, des analyses statistiques étaient effectuées avec deux facteurs inter-sujets : un facteur Main (gauche *vs.* droite) et un facteur Forme (cylindre *vs.* prisme). Lors de la phase test, pour étudier la discrimination, la première analyse statistique était réalisée avec deux facteurs principaux : un facteur inter-sujets (Ordre de présentation de l'objet : ordre 1 *vs.* ordre 2) et un facteur intra-sujet (Nature de l'objet : nouveau *vs.* familier). Ensuite, afin d'évaluer en quoi le changement de main pouvait influencer la discrimination, une seconde analyse a été menée avec un facteur intra-sujet (Phase : moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux essais de l'objet nouveau de la phase test *vs.* moyenne des deux essais de l'objet familier de la phase test).

6.3. RESULTATS

6.3.1. Phase d'habituation

Tout d'abord, une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais est observée chez tous les enfants prématurés. Ce résultat confirme l'existence d'une habituation tactile manuelle chez les enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA.

Le Tableau 20 présente les paramètres de performances d'habituation en fonction de la main testée et de la forme de l'objet. Afin de vérifier si les paramètres de l'habituation n'étaient pas affectés par la main testée et / ou la forme de l'objet, des ANOVA pour le plan 2 (Forme : prisme *vs.* cylindre) × 2 (Main : gauche *vs.* droite) ont été réalisées. Tout d'abord, pour le temps de tenue total : aucun effet significatif du facteur Main ($F(1, 23) = 0{,}803$; $p = 0{,}381$), du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}280$; $p = 0{,}603$) et de l'interaction Main × Forme ($F(1, 23) = 2{,}721$; $p = 0{,}115$) n'a été observé. Ensuite, pour le temps de tenue des deux premiers essais, l'analyse a révélé un effet principal du facteur Main ($F(1, 23) = 7{,}261$; $p = 0{,}014$). Ainsi, les enfants prématurés tenaient plus longtemps les objets de la main droite (M = 67 s, ET = 26 s) que de la main gauche (M = 40 s, ET = 22 s) pendant les deux premiers essais d'habituation. Aucun effet significatif du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}636$; $p = 0{,}434$) ni d'interaction significative Main × Forme ($F(1, 23) = 0{,}699$; $p = 0{,}413$) n'a été mis en évidence. Pour le nombre moyen d'essais, nous n'observons aucun effet significatif du facteur Main ($F(1, 23) = 0{,}360$; $p = 0{,}555$), du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}090$; $p = 0{,}767$), ni d'interaction significative Main × Forme ($F(1, 23) = 2{,}252$, $p = 0{,}149$). Enfin, pour le temps de tenue des deux derniers essais, l'analyse a révélé un effet principal du facteur Main ($F(1, 23) = 9{,}690$; $p = 0{,}05$). Ainsi, les enfants prématurés tenaient plus longtemps les objets de la main droite (M = 8,4 s, ET = 3,9 s) que de la main gauche (M = 3,9 s, ET = 3 s) pendant les deux derniers essais d'habituation. Aucun effet significatif du facteur Forme ($F(1, 23) = 0{,}484$; $p = 0{,}495$) ni d'interaction significative Main × Forme ($F(1, 23) = 0{,}313$; $p = 0{,}582$) n'a été mis en évidence.

Main	Objet	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Temps de tenue des 2 derniers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Main droite	Prisme (N=6)	91,6 (18,3)	58,8 (25,3)	7,5 (3,1)	4,8 (1)
	Cylindre (N=6)	139,7 (53,3)	75,1 (26)	9,3 (4,7)	5,8 (1,9)
Main gauche	Prisme (N=6)	108,2 (73,7)	40,3 (26,2)	3,8 (3,3)	6 (0,9)
	Cylindre (N=6)	83,5 (55,5)	39,9 (19,3)	4 (2,9)	5,3 (1,4)
Total		105,8 (55)	53,5 (27,2)	6,2 (4,1)	5,5 (1,4)

Tableau 20 ***Paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) en fonction de la main testée et de la forme de l'objet présenté en phase d'habituation [étude 3]***

6.3.2. Phase test

Tout d'abord, concernant les enfants habitués de la main gauche (N=12), trois enfants tenaient plus longtemps l'objet familier, les neuf autres tenaient plus longtemps l'objet nouveau. Puis, concernant les enfants habitués de la main droite (N=12), trois enfants tenaient plus longtemps l'objet familier, les neuf autres tenaient plus longtemps l'objet nouveau. Au total, dix-huit enfants tenaient l'objet nouveau plus longtemps que l'objet familier dans la main opposée. Une ANOVA pour le plan 2 (Nature de l'objet : nouveau *vs.* familier) × 2 (Ordre de présentation des objets : ordre 1 *vs.* ordre 2) × 2 (Main : gauche *vs.* droite) a été réalisée sur les temps de tenue de la phase test. Pour examiner nos hypothèses, nous avons seulement analysé l'effet du facteur Nature de l'objet ainsi que son interaction avec les facteurs Ordre de présentation et Main. Les résultats ont révélé un effet principal du facteur Nature de l'objet ($F(1,20) = 7{,}705$; $p = 0{,}012$), indiquant que les enfants prématurés tenaient plus longtemps l'objet nouveau (M = 23,5 s, ET = 17 s) que l'objet familier (M = 14,2 s, ET = 14 s) (Figure 24). Aucune interaction significative n'a été observée (tous les $p > 0{,}25$). Ces résultats suggèrent que la réaction à une forme nouvelle a été obtenue chez les enfants prématurés, quels que soient l'ordre de présentation des objets et la main testée.

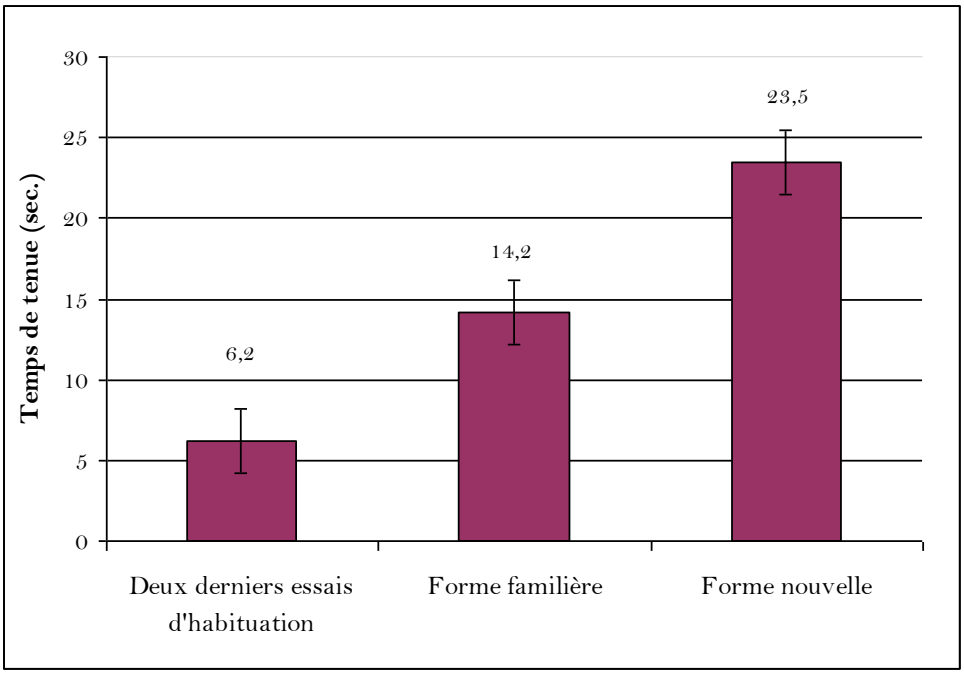

Figure 24 ***Graphique des temps de tenue (moyennes (erreur standard)) des deux derniers essais de l'habituation, de l'objet nouveau et de l'objet familier lors des essais de la phase test [étude 3]***

Afin d'évaluer en quoi le changement de main pouvait influer sur la discrimination par rapport à une discrimination faite dans la même main que celle de l'habituation, une seconde analyse ANOVA a été réalisée avec le facteur intra-sujet Phase (moyenne des deux derniers essais d'habituation *vs.* moyenne des deux essais de l'objet nouveau de la phase test *vs.* moyenne des deux essais de l'objet familier de la phase test) sur les temps de tenue (Figure 24). L'analyse a révélé un effet principal du facteur Phase ($F(2,46) = 14,138$; $p < 0,001$). Des comparaisons planifiées ont ensuite été effectuées afin d'examiner des différences de temps de tenue entre la phase d'habituation et la phase test en fonction de la nature de l'objet (nouveau ou familier). D'une part, ces comparaisons ont mis en évidence que les enfants tenaient significativement plus longtemps l'objet nouveau dans la main opposée en phase test que lors des deux derniers essais d'habituation ($F(1,23) = 25,371$; $p < 0,001$). D'autre part, elles montrent que les enfants tenaient aussi plus longtemps l'objet familier dans la main opposée en phase test que lors des deux derniers essais d'habituation ($F(1,23) = 6,648$; $p = 0, 017$). Les enfants augmentaient leurs temps de tenue dans la main opposée que l'objet présenté soit le nouveau ou le familier, bien que cette augmentation soit significativement plus importante pour l'objet nouveau que pour l'objet familier ($F(1,23) = 8,348$; $p = 0,008$).

6.4. DISCUSSION

L'objectif de cette expérience était d'étudier la capacité des enfants prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à transférer des informations de forme d'une main à l'autre. Tout d'abord, les résultats confirment la présence d'une habituation tactile manuelle pour chaque main et pour chaque forme chez les nouveau-nés prématurés. Toutefois, contrairement à notre étude précédente avec 24 enfants du même âge post-conceptionnel et une procédure d'habituation identique (Lejeune et al., 2010), un effet principal de la main a été observé pour deux des quatre paramètres d'habituation : les nouveau-nés prématurés tenaient plus longtemps les objets avec la main droite qu'avec la main gauche au cours des deux premiers et des deux derniers essais d'habituation. Peu d'asymétries mettant en évidence un grasping plus important de la main droite sont décrites dans la littérature (Caplan & Kinsbourne, 1976; Petrie & Peters, 1980). Néanmoins, en ce qui concerne les autres paramètres de l'habituation (temps de tenue total et nombre d'essais), aucun effet significatif de la main n'a été observé. De plus, en ce qui concerne la phase test, les analyses n'ont révélé aucune influence de la main sur les performances de discrimination. Cet effet spécifique est difficile à expliquer et pourrait être le reflet d'une importante variabilité inter-individuelle. Toutefois, la présence d'une habituation tactile manuelle signifie que les enfants prématurés sont capables de mémoriser la forme d'un objet dans chaque main.

Deuxièmement, le principal résultat de cette expérience est qu'après habituation à une forme d'objet dans une main, les nouveau-nés prématurés tenaient plus longtemps le nouvel objet que l'objet familier dans la main opposée. Pour la première fois, les résultats révèlent qu'un transfert inter-manuel de la forme est présent chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA. Fabri et ses collaborateurs (2005) ont mis en évidence la contribution essentielle de la partie postérieure du corps calleux au transfert inter-hémisphérique des informations tactiles. Par conséquent, son développement semblerait être suffisant pour permettre un transfert d'informations entre les deux mains chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA. Cependant, les enfants prématurés augmentaient leurs temps de tenue dans la main opposée que l'objet présenté soit le nouveau ou le familier, bien que l'augmentation soit significativement plus importante pour l'objet nouveau que pour l'objet familier. Autant l'augmentation du temps de tenue était attendue pour l'objet nouveau confirmant la présence d'une discrimination, autant l'augmentation du temps de tenue pour l'objet familier était plus surprenante. Ce second résultat nous renseigne sur l'influence du changement de main sur le processus de discrimination tactile de la forme de l'objet. Cet effet pourrait être dû à deux

facteurs, l'un périphérique et l'autre central. Au niveau périphérique, les récepteurs tactiles ne sont pas les mêmes que ceux stimulés lors de l'habituation et les informations de l'objet prélevées par la main opposée sont acheminées au système nerveux central par une autre voie que celle sollicitée lors de l'habituation. Au niveau central, la comparaison des informations prélevées sur les objets par les deux mains nécessiterait donc plus de temps que lors d'un traitement intra-main. Cette augmentation du temps de tenue pourrait refléter le temps nécessaire au transfert d'informations entre les deux hémisphères via le corps calleux.

Toutefois, le sens de préférence (préférence à la nouveauté) diffère de celle observée dans les nouveau-nés à terme âgés de 2 jours avec une procédure équivalente. Dans l'étude récente de Sann et Streri (2008), les nouveau-nés à terme tenaient plus longtemps la forme familière dans la main opposée (préférence à la familiarité). A l'inverse, dans cette même étude, les nouveau-nés à terme présentaient une préférence pour la nouvelle texture. Cette différence du sens de préférence entre les propriétés de l'objet a été expliquée par les auteurs par une représentation de plus en plus élaborées dans le cas de la forme. Selon cette hypothèse, cela signifierait que les enfants prématurés auraient une représentation plus complexe de la forme que les nouveau-nés à terme, conduisant ainsi à une préférence pour la nouvelle forme dans la main opposée. Si tel est le cas, l'aspect expérientiel semble prévaloir sur l'aspect de maturation. En effet, les enfants prématurés sont testés à un âge post-conceptionnel (34+3 SA) inférieur à celui des enfants nés à terme (40+2 SA) mais à un âge post-natal supérieur (30 jours *vs.* 2 jours). Nos résultats pourraient s'expliquer par le fait que les enfants prématurés de cette étude ont en moyenne 30 jours de vie (minimum 9 jours) et de ce fait, une expérience tactile ex utero plus importante que celle des nouveau-nés à terme. Cependant à l'âge de 2 mois, les enfants nés à terme présentent toujours une préférence pour la forme familière (Streri, Lemoine, & Devouche, 2008) alors que cette fois-ci leur âge post-natal est supérieur à celui de nos enfants prématurés, ce qui signifie qu'ils possèdent une plus longue expérience tactile. Pour expliquer cette seconde divergence, le type d'expériences tactiles serait un second facteur qui, avec la durée d'expérience, influencerait le sens de la préférence. En effet, les enfants prématurés, dans leurs incubateurs, reçoivent de nombreuses stimulations tactiles stéréotypées (changes, toilettes, alimentation, examens médicaux, etc.) et en très grande quantité : rappelons que les nouveau-nés hospitalisés subissent en moyenne 10 à 14 procédures par jour et en moyenne 53 procédures différentes lors de leurs 15 premiers jours de vie (Simons et al., 2003). De plus, Gimenez et ses collaborateurs (2008) ont montré que la maturation cérébrale peut être accélérée par des facteurs associés à la prématurité, peut-être directement grâce aux effets de l'environnement extra-utérin. De manière générale, l'explication du sens de la préférence fait encore l'objet de débats et

semblent dépendre de plusieurs facteurs (Pascalis & De Haan, 2003). Quel que soit le sens de cette préférence, dans les deux cas, elle indique la présence d'une discrimination et suggère que le développement du corps calleux serait suffisant pour permettre un transfert d'informations sur la forme entre les deux mains chez les enfants prématurés dès 33 SA.

En conclusion, cette étude met en évidence que le transfert inter-manuel des informations de forme est déjà présent à 33 SA chez les enfants prématurés. D'autres études seront nécessaires pour mieux comprendre les différences de sens de préférence (nouveau *vs.* familier) selon les propriétés des objets, l'âge post-conceptionnel, l'âge post-natal et le type d'expériences tactiles.

Encadré 5 : résumé de l'étude 3

Introduction : Le prématuré dès l'âge de 33 SA, comme le nouveau-né né à terme à 48 heures de vie, est capable d'habituation et de discrimination tactile entre deux objets de formes différentes avec la main droite ou la main gauche. De plus, les nouveau-nés à terme sont aussi capables de transfert inter-manuel d'informations sur la forme : après avoir habitué le bébé avec une main, la discrimination se fait dans la main opposée. Ces résultats révèlent l'existence d'une communication entre les deux hémisphères cérébraux dès la naissance. Sachant que le corps calleux est d'autant plus immature que le bébé est né en avance, le bébé prématuré est-il capable de transfert inter-manuel de la forme ? L'objectif principal de cette étude était d'étudier la capacité des bébés prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme avec une main et détecter une différence de forme de l'autre main.

Méthodologie et résultats : Une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté a été utilisée chez 24 enfants prématurés âges de 33 à 34+6 SA. Pendant la phase d'habituation, un objet (prisme ou cylindre) était présenté dans une main du bébé (droite ou gauche). Dans une seconde phase test, une fois le bébé habitué à un objet, on présentait dans la main opposée, pendant deux essais un objet avec une nouvelle forme et pendant deux autres essais l'objet familier. L'ordre de présentation a été contrebalancé entre les enfants. Après présentations successives d'un même objet, nous avons observé une diminution du temps de tenue au fur et à mesure des essais pour chaque enfant prématuré. Les résultats révèlent que les enfants prématurés, après habituation à un objet dans une main, tenaient plus longtemps l'objet de forme nouvelle dans la main opposée que l'objet familier.

Conclusion : Pour la première fois, les résultats révèlent qu'un transfert inter-manuel de la forme est présent chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Dans ces travaux de thèse, nous nous sommes intéressés à la modalité tactile chez les enfants prématurés et de manière plus spécifique, au traitement haptique manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision. Ce champ de recherche était resté jusqu'alors inexploré chez les enfants prématurés. Tout d'abord, nous allons reprendre les principaux résultats mis en évidence. Ensuite, nous verrons en quoi nos études permettent d'apporter des éléments de réponse sur la fonctionnalité précoce du traitement tactile. Puis, nous parlerons des similarités et des différences de perception manuelle entre les enfants prématurés et les nouveau-nés à terme. Enfin, nous conclurons sur l'importance d'observer l'enfant prématuré avant de le stimuler pour être dans les meilleures conditions possibles pour l'adulte et pour l'enfant.

Résultats principaux

L'objectif principal de l'étude 1, qui nous a servi d'étude pilote, était d'étudier la capacité des enfants prématurés à percevoir d'une main la différence entre deux formes d'objets. Une habituation tactile manuelle a été mise en évidence chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA. A la suite de cette habituation, une discrimination manuelle de la forme des objets a été observée chez les enfants prématurés, quelle que soit la main testée. Ces résultats sont similaires à ceux observés chez les nouveau-nés à terme. Toutefois, une différence dans la vitesse du processus d'habituation a été mise en évidence entre les enfants prématurés et nés à terme.

L'objectif principal de l'étude 2 était d'étudier l'effet du degré de prématurité sur les compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence (suite à la présentation du nouvel objet) chez trois grands groupes de prématurité. Les enfants âgés de 28 à 34 SA présentaient des compétences d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Quant aux enfants âgés de plus de 34 SA, les résultats suggéraient l'existence d'une habituation tactile et d'une réaction à la nouveauté mais une absence de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet. Les résultats particuliers de ce groupe d'âge mettaient en évidence des différences qualitatives entre le groupe de petite prématurité et les deux autres groupes. Aucune différence quantitative des performances d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence n'a été mise en évidence entre les trois groupes de prématurité.

L'objectif principal l'étude 3 était d'étudier la capacité des bébés prématurés âgés de 33 à 34+6 SA à percevoir et mémoriser une forme avec une main et détecter une différence de forme de l'autre main. Les résultats révèlent qu'un transfert inter-manuel de la forme est présent chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA témoignant de l'existence d'une communication entre les deux hémisphères cérébraux dès 33 SA.

Axe 1 : Maturité de la modalité tactile : compétences précoces

Beaucoup d'études se sont intéressées à la mise en place et l'évolution des structures cérébrales au cours du développement de l'enfant prématuré. Certaines d'entre elles montrent des activations corticales suite à des stimulations tactiles. Cependant, cela ne nous renseigne pas sur la façon dont ces enfants traitent ces informations. Nos études permettent d'apporter des éléments de réponse sur la fonctionnalité précoce du traitement tactile.

Lors de l'embryogenèse, le système somesthésique est le premier sens à se mettre en place. Les récepteurs cutanés sont présents au niveau du visage, de la paume des mains et de la plante des pieds vers 11 SA et sur toute la surface du corps à 20 SA (Hooker, 1938, 1952; Humphrey, 1964, 1970). Le grasping apparaît vers 18 SA (Hooker, 1938). Même si les sources de stimulations tactiles in utero sont assez limitées, des études cliniques ont montré que lors d'interventions obstétricales, les stimulations tactiles provoquent des accélérations du rythme cardiaque chez le fœtus. (Baxi, Randolph, & Miller, 1988; Clark, Gimovsky, & Miller, 1982, 1984). D'autres études cliniques ont montré que le fœtus était aussi sensible à la douleur dès 18 SA (Giannakoulopoulos, Sepulveda, Kourtis, Glover, & Fisk, 1994; Giannakoulopoulos, Teixeira, Fisk, & Glover, 1999; Puolakka, Kauppila, Leppaluoto, & Vuolteenaho, 1982). Malgré la difficulté d'étudier le toucher in utero, ces résultats montrent que le fœtus humain semble déjà posséder une sensibilité tactile précoce. Des études réalisées en neuroimagerie chez les enfants prématurés vont dans le même sens en démontrant une activation précoce du cortex somatosensoriel, premier niveau d'intégration corticale de la stimulation tactile. Ainsi, des activations sont observées au niveau du cortex somatosensoriel dès 28 SA suite à une stimulation tactile avec (Arichi et al., 2010; Milh et al., 2007; Vanhatalo, Jousmaki, Andersson, & Metsaranta, 2009) ou sans composante kinesthésique (Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz, & Anand, 2006; Nevalainen et al., 2008). Nos résultats

viennent renforcer les conclusions de ces études en mettant en évidence une maturité précoce de la modalité tactile (études 1 et 2). En effet, les enfants prématurés dès l'âge post-conceptionnel de 28 SA sont déjà capables d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après une interférence (présentation du nouvel objet). Cependant, les enfants prématurés âgés de plus de 34 SA présentent une habituation tactile et une réaction à la nouveauté mais une absence de reconnaissance d'un objet familier suite à la présentation du nouvel objet (étude 2). Cet échec de reconnaissance de l'objet familier après interférence du nouvel objet est assez surprenant dans la mesure où les enfants prématurés des deux autres groupes d'âge qui sont plus jeunes, réussissent. Nous avions proposé trois explications possibles ainsi que des propositions d'expériences pour les tester (*5.4. Discussion*). Quelle que soit l'explication, ce résultat semble indiquer qu'à partir de 34SA des modifications se produisent au niveau de la perception tactile, même si aucune des études présentées en neuroimagerie n'indique un changement particulier à 34 SA au niveau du cortex somatosensoriel. A l'heure actuelle, les éléments théoriques et expérimentaux nécessaires pour répondre à ces questions nous manquent encore. Ce résultat nécessiterait une étude plus approfondie pour comprendre ce qu'il se passe à cet âge.

La communication inter-hémisphérique est importante pour une intégration cohérente des informations (Doron & Gazzaniga, 2008). La perception haptique doit donc être considérée à un niveau intra mais aussi inter-hémisphérique où le corps calleux est impliqué dans le transfert d'informations tactiles. En effet, des études en neuroimagerie menées chez l'adulte ont démontré que le transfert d'informations tactiles repose sur l'intégrité de la partie postérieure du corps calleux (Fabri et al., 2005; Fabri et al., 2001). Bien que le corps calleux commence à se développer avant la naissance, les premières fibres calleuses sont observées vers 10-11 SA et il ne mature que très lentement avec un processus de myélinisation qui se poursuivra jusqu'à la puberté (Bloom & Hynd, 2005). Même si la myélinisation n'est pas terminée, il semble que les principaux faisceaux de fibres, dont ceux du corps calleux, sont déjà en place à la naissance (Dubois, Hertz-Pannier, Dehaene-Lambertz, Cointepas, & Le Bihan, 2006) et même dès 28 SA (Huppi et al., 1998). Récemment, Sann et Streri (2008) ont mis en évidence chez des nouveau-nés à terme âgés de 2 jours, l'existence d'un transfert inter-main de la forme et de la texture des objets indépendamment du sens de transfert (main gauche vers main droite ou inversement) et ce, malgré l'immaturité du corps calleux. La prématurité, quant à elle, semble altérer la croissance du corps calleux tôt dans la vie post-natale. Anderson et ses collaborateurs (2006) ont montré que le corps calleux progressait normalement dans les deux premières semaines

de la vie, mais que sa croissance était ralentie entre la deuxième et la sixième semaine. La vitesse de développement du corps calleux est moitié moins importante chez le prématuré que chez le foetus (Anderson, Laurent, Cook, Woodward, & Inder, 2005). Ce ralentissement pendant cette période a été associé à un retard psychomoteur à l'âge de 2 ans. L'association entre un moindre développement du corps calleux et des déficits psychomoteurs a été mis en évidence dans de nombreuses études chez les enfants prématurés âgés de 8 ans (Peterson et al., 2000; Rademaker et al., 2004), mais aussi à l'adolescence (Caldu et al., 2006; Narberhaus et al., 2007; Narberhaus et al., 2008; Nosarti et al., 2004). Une étude s'est intéressée à la croissance du corps calleux entre l'âge de 15 et 19 ans chez des enfants prématurés et nés à terme. Des différences de croissance apparaissent entre les deux populations avec une croissance beaucoup plus importante chez les prématurés (13 % vs. 3 %). Cette croissance est telle que la différence de taille du corps calleux entre les deux groupes d'adolescents s'atténue au cours du temps jusqu'à l'atteinte de l'âge adulte. Toutes ces études reliant corps calleux et prématurité n'évaluent pas son fonctionnement en période néonatale chez les enfants prématurés. Malgré la vulnérabilité du corps calleux face à une naissance prématurée, nos résultats révèlent qu'un transfert inter-manuel de la forme existe chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA (étude 3). Par conséquent, le développement du corps calleux semble être suffisant pour permettre un transfert d'informations entre les deux hémisphères chez les enfants prématurés entre 33 et 34+6 SA.

En comparant de façon transversale les compétences d'habituation et de discrimination mises en évidence chez nos enfants prématurés de 28 SA à 38+3 SA, aucune différence quantitative n'a pu être mise en évidence (étude 2). De plus, les analyses de corrélations indiquent que les performances mesurées ne semblent pas non plus être affectées par les différents âges (études 1 et 2). Cela signifie qu'une fois ces compétences acquises par les enfants prématurés, elles sont acquises et varient peu jusqu'à l'approche du terme. Nos résultats diffèrent de ceux obtenus chez des enfants prématurés lors de stimulations tactiles passives. Fearon, Hains, Muir et Kisilevsky (2002) ont cherché à caractériser la maturation de la sensibilité tactile en utilisant une procédure d'habituation / déshabituation chez les nouveau-nés prématurés et nés à terme entre 30 et 40 SA peu après la naissance. Les réponses cardiaques et comportementales (mouvements du corps) sont enregistrées en phase de sommeil agité. Tout d'abord, 60 % des enfants prématurés et nés à terme présentent une accélération cardiaque et motrice suite à la présentation initiale du stimulus, puis une diminution des deux types de réponses lorsque la stimulation est répétée indiquant que les enfants se sont habitués. Ces enfants réagissent ensuite à la présentation du nouveau

stimulus. Cependant, 40 % des enfants ne présentent pas de réponses cardiaque et motrice immédiate suite à la présentation initiale du stimulus tactile, mais commencent à en manifester seulement après quelques essais, ensuite ils échouent lors de la phase de discrimination du nouveau stimulus. Les auteurs interprètent ces différences quel que soit le groupe d'âge comme étant le reflet de différences individuelles lors de la perception d'une stimulation tactile. De plus, les résultats révèlent aussi une maturation des réponses entre 30 et 40 SA avec une augmentation graduelle dans l'ampleur de l'accélération cardiaque provoquée par le stimulus ainsi qu'une augmentation de la corrélation des réponses cardiaques et comportementales. Au vu des compétences précoces et stables mises en évidence dans notre étude, il est possible que les différences observées soient dues à des différences individuelles liées à l'instabilité des mécanismes de contrôle cardiaque car la relation d'homéostasie entre les mécanismes de contrôle parasympathique et sympathique n'est pas encore complètement développé à ces âges (Hata et al., 2005). Cette étude met en évidence l'interaction entre la maturation du système cardiaque et l'habituation. La mesure comportementale que nous utilisons sollicite seulement le système moteur de façon très modérée (ouverture / fermeture de la main), système qui semble plus mature et permet donc d'observer des réponses précoces et stables dans le temps. Chez les enfants prématurés, il faut donc bien s'interroger sur le type de réponse que l'on veut évaluer en prenant en compte l'immaturité des différents systèmes.

En conclusion, nos études ont révélé des compétences tactiles précoces en fonction d'une propriété de l'objet particulière, la forme. De la même manière que les nouveau-nés à terme, l'activité manuelle des enfants prématurés qui consiste en une ouverture / fermeture de la main, constituerait une exploration suffisante de l'objet pour encoder, traiter et stocker en mémoire des informations de forme. Les enfants nés à terme présentent le même type de compétences pour d'autres propriétés de l'objet telles que le poids, la substance et la texture. L'enfant prématuré présentera-t-il des compétences identiques pour traiter d'autres propriétés de l'objet ?

Axe 2 : Similarités et différences de la perception tactile manuelle entre les enfants prématurés et les nouveau-nés à terme

Dans l'ensemble, les études de neuroimagerie mettent en exergue une activation du cortex somatosensoriel après stimulation tactile qui est similaire chez les enfants prématurés et les enfants nés à terme ayant le même âge post-conceptionnel (Arichi et al., 2010; Nevalainen et al., 2008). Cela rend compte d'une maturation équivalente du cortex somatosensoriel que la prématurité n'aurait pas entravée. Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux obtenus en mesurant les réponses comportementales et physiologiques manifestées par des enfants nés à terme et prématurés suite à une stimulation tactile répétée. Ces études mettent en avant des différences de réponses entre les enfants nés à terme et les enfants prématurés avec des réponses comportementales moindres et des réponses cardiaques non significatives suite à une stimulation tactile au bas de l'abdomen chez les enfants prématurés (Field, Dempsey, Hatch, Ting, & Clifton, 1979; Rose, Schmidt, & Bridger, 1976). Ici aussi, ces résultats ne signifient pas forcément que les enfants prématurés traiteraient moins bien ces informations tactiles, mais plutôt que leur système cardio-vasculaire et dans une moindre mesure leur système moteur, seraient encore trop immatures et désorganisés pour renseigner sur cette aptitude. Nos résultats ne révèlent pas de différences qualitatives entre nos enfants prématurés et des enfants nés à terme. En effet, les enfants prématurés dès 28 SA sont capables d'habituation et de discrimination tactile (études 1 et 2) comme les nouveau-nés à terme (Streri, Lhote, & Dutilleul, 2000).

Au niveau quantitatif, la comparaison effectuée entre les données de l'étude de Streri, Lhote et Dutilleul (2000) avec nos données indique que les enfants prématurés s'habituent plus rapidement (sur deux des trois paramètres d'habituation : temps de tenue total et nombre moyen d'essais), tandis que les performances lors de la phase test ne diffèrent pas significativement (étude 1). Au vu de cette différence, nous avons proposé que la durée du temps d'habituation observée dans cette étude pourrait être affectée par la fatigabilité motrice qui est un phénomène bien connu chez les enfants prématurés (Dalla Piazza, 1997) mais qui ne perturberait pas ou peu la capacité d'habituation des enfants prématurés de 33 SA. Cependant, après avoir mené d'autres études similaires (habituation identique) auprès des enfants prématurés, il nous paraît intéressant de recenser les paramètres d'habituation de nos différentes études et ceux des études faites chez le nouveau-né à terme afin de faire une comparaison plus large Les études choisies chez les nouveau-nés à terme devaient utiliser le

même critère d'habituation tactile que le nôtre (la somme des durées de deux essais consécutifs doit être inférieure ou égale au tiers de la somme des durées des deux premiers essais) et tester des enfants âgés de 2 jours environ. Nous avons ainsi retenu trois études faites chez les nouveau-nés à terme (Sann & Streri, 2007, 2008; Streri, Lhote, & Dutilleul, 2000). Le Tableau 21 présente les moyennes de chacune des études. Pour comparer les moyennes entre les deux populations, nous avons effectué des tests t de Student pour chacun des paramètres d'habituation. Les analyses ne révèlent aucune différence significative pour les trois paramètres : temps de tenue total ($t(190) = 1{,}35$; $p > 0{,}10$), temps de tenue des deux premiers essais ($t(190) = 0{,}08$; $p > 0{,}10$), nombre moyen d'essais ($t(190) = 1{,}85$; $p > 0{,}10$). Il semblerait donc que la vitesse d'habituation soit similaire entre les enfants prématurés et les nouveau-nés à terme. En regardant le Tableau 21, on s'aperçoit que les deux études que nous avions comparées présentent les valeurs extrêmes minimales (prématurés) et maximales (à terme) pour le temps de tenue total et le nombre d'essais. Les différences constatées dans la comparaison de l'étude 1 seraient seulement le reflet d'importantes différences inter-individuelles existantes chez les nouveau-nés.

Population	Etude	Temps de tenue total (sec.)	Temps de tenue des 2 premiers essais (sec.)	Nombre moyen d'essais
Prématurés	Etude 1			
	33 - 34+6 SA	79,9 (47,9)	57,6 (31,5)	4,5 (0,9)
	Etude 2			
	< 32 SA	109,8 (77,5)	56,7 (31,6)	5,6 (1,8)
	32 - 34 SA	113,7 (80)	54,8 (32,3)	5,7 (2)
	> 34 SA	97,6 (58,4)	45,4 (30,8)	5,5 (1,6)
	Etude 3			
	33 - 34+6 SA	105,8 (55)	53,5 (27,2)	5,5 (1,4)
	Moyenne	**101,4**	***53,6***	***5,4***
A terme	Streri et al. (2000)	123,1 (63,7)	45,9 (27)	6,4 (1,6)
	Sann et Streri. (2007)	84,5 (49,2)	59,3 (48,4)	5,2 (1,2)
	Sann et Streri (2008)	103,5 (67,5)	55,9 (39,6)	6 (1,9)
	Moyenne	**103,7**	***53,7***	***5,9***

Tableau 21 ***Comparaison des paramètres d'habituation (moyennes (écart-types)) entre les enfants prématurés et les nouveau-nés à terme***

Nous avons mis en évidence une autre différence qualitative entre les enfants prématurés (étude 3) et les nouveau-nés à terme (Sann & Streri, 2008) lors du transfert inter-

main. Les enfants prématurés tiennent plus longtemps l'objet nouveau que l'objet familier dans la main opposée (préférence à la nouveauté) à l'inverse des nouveau-nés à terme âgés de 2 jours qui présentent une préférence pour l'objet familier. Nous avons proposé une hypothèse pouvant expliquer cette différence du sens de préférence. Les enfants prématurés auraient une représentation plus élaborée de la forme que les nouveau-nés à terme, conduisant ainsi à une préférence pour la nouvelle forme dans la main opposée. Si tel est le cas, l'aspect expérientiel semble prévaloir sur l'aspect de maturation car les enfants prématurés sont testés à un âge post-conceptionnel (34+3 SA) inférieur à celui des enfants nés à terme (40+2 SA) mais à un âge post-natal supérieur (30 jours *vs.* 2 jours). Cependant, à l'âge de 2 mois, les enfants nés à terme présentent toujours une préférence pour la forme familière (Streri, Lemoine, & Devouche, 2008). Pour expliquer cette seconde divergence, soit les expériences tactiles très particulières et nombreuses des enfants prématurés pourraient avoir influencé le sens de la préférence, soit l'utilisation d'un critère moins strict chez les enfants de 2 mois (diminution de moitié) ne leur aurait pas permis d'avoir une représentation complète de l'objet. Pour tester cette première hypothèse, il serait nécessaire de faire une expérience similaire chez des enfants prématurés n'ayant pas plus de 2 jours de vie afin de vérifier qu'ils présentent cette fois-ci une préférence pour l'objet familier. De manière générale, l'explication du sens de la préférence semble multifactorielle et fait encore l'objet de débats (Pascalis & De Haan, 2003). Quel que soit le sens de cette préférence, elle indique que le développement du corps calleux serait suffisant pour permettre un transfert d'informations entre les deux hémisphères cérébraux chez les enfants prématurés dès 33 SA.

En conclusion, la comparaison des compétences tactiles manuelles entre les enfants nés à terme et prématurés ne révèle pas de différences qualitatives. Les deux populations sont capables d'habituation et de discrimination tactile lors d'un traitement intra-main, mais aussi lors d'un transfert inter-main. Cependant, la grande différence mise en évidence entre ces deux populations est le sens de préférence de l'objet lors de la discrimination dans la main opposée. L'hypothèse de l'influence de l'expérience ex utero reste à démontrer. D'autres études seront nécessaires pour mieux comprendre les différences de sens de préférence (nouveau *vs.* familier) selon les propriétés des objets, l'âge post-conceptionnel, l'âge post-natal et le type d'expériences tactiles.

.

Axe 3 : Place de la modalité tactile au sein des autres modalités sensorielles : bien stimuler un enfant prématuré

Les enfants prématurés possèdent déjà un certain nombre de compétences sensorielles précoces auxquelles viennent s'ajouter des compétences tactiles manuelles dès 28 SA (*1.2. Compétences sensorielles précoces de l'enfant prématuré*). En effet, ces enfants peuvent discriminer deux odeurs différentes dès 29 SA (Marlier, Schaal, Gaugler, & Messer, 2001), ils sont aussi capables de discriminer une saveur sucrée d'une saveur non sucrée à 35 SA (Tatzer, Schubert, Timischl, & Simbruner, 1985), ils peuvent discriminer deux sons de fréquences différentes à 34 SA (White-Traut et al., 2009), enfin ils sont capables de discriminer des visages exprimant différentes émotions à 36 SA (Field et al., 1983). Avant l'atteinte du terme normal, ces enfants présentent déjà de nombreuses compétences sensorielles. Etant donné que la première modalité sensorielle à se développer in utero est la modalité tactile, nos résultats sont cohérents du point de vue de la mise en place séquentielle des sens. Seul le système moteur immature (hypotonie) de l'enfant prématuré aurait pu être un obstacle pour observer ces compétences tactiles précoces. Cependant le simple maintien de l'avant-bras a permis aux enfants d'explorer au mieux les objets en présentant des mouvements exploratoires des doigts, du poignet, voire du bras pour les plus toniques. La main des enfants prématurés apparaît donc comme une de leurs possibilités de découvrir le monde qui les entoure.

Cependant, lors de ces trois années de travail auprès des enfants prématurés, la difficulté principale a été de trouver le meilleur moment pour tester les enfants afin qu'ils soient dans les meilleurs conditions possibles pour explorer l'objet avec calme et attention. La première chose importante était de ne pas les réveiller exclusivement pour faire le test mais plutôt de s'intégrer dans les horaires de soins de l'enfant afin de ne pas perturber encore plus leur rythme de veille / sommeil. Ensuite, une fois l'enfant réveillé, il fallait qu'il soit réceptif à la stimulation tactile proposée. Pour ce faire, nous limitions les autres sources de stimulations : la luminosité était minimisée, nous coupions les alarmes des scopes et imposions le silence quand cela était possible. Toutefois, même dans ces conditions optimales, comme nous l'avons présenté dans l'étude 2 (test arrêté), l'enfant pouvait refuser l'objet de différentes manières : il s'endormait, il pleurait ou s'agitait, il fermait la main ou il gardait sa main en extension. Ces comportements sont autant de signes qu'utilise l'enfant pour se protéger des stimulations qu'il n'est pas apte à recevoir à ce moment-là. Les enfants

prématurés savent à leur manière exprimer leur refus d'être stimulé, quelle que soit l'origine de la stimulation proposée. Il s'agit ainsi d'observer le bébé afin de savoir s'il est fatigué, désorganisé ou s'il est détendu et prêt à interagir. Ces observations s'inscrivent directement dans le programme d'intervention précoce, le NIDCAP qui s'appuie sur la théorie synactive du développement néonatal (*1.5.1. Le NIDCAP*), où le nouveau-né prématuré est considéré comme l'acteur principal de son propre développement (Als et al., 1986). Rappelons que selon cette théorie, l'enfant est divisé en 5 sous-systèmes : végétatif (respiration, comportement viscéral, rythme cardiaque, etc.), moteur (posture, tonus, mouvement du corps), veille / sommeil (différents stades de sommeil et d'éveil), attention / interaction (capacité de l'enfant à répondre aux stimuli), autorégulation (capacité de l'enfant à maintenir un équilibre entre tous les sous-systèmes en adoptant des comportements qui le mettent en confiance, qui le calment) (Westrup, Kleberg, & Stjernqvist, 2005). Ces sous-systèmes sont liés les uns aux autres et soumis à l'influence de l'environnement. Toute stimulation trop intense ou précoce va entraîner un déséquilibre dans ces sous-systèmes et une réaction de stress et / ou de rejet. C'est ce que nous avons pu observer lors des tests précocement arrêtés. Toute stimulation adaptée aux compétences de l'enfant va être à l'origine d'un comportement d'approche, témoignant d'un bien-être. C'est donc en s'adaptant au rythme de l'enfant que nous avons pu obtenir une réponse exploratoire optimale lorsque qu'un objet était placé dans sa main.

Un nouveau-né prématuré dès 28 SA est donc capable d'explorer tactilement son environnement dès ses premiers jours de vie lorsqu'il est en phase d'éveil calme. Lors d'une naissance prématurée, le nouveau-né prématuré doit s'adapter rapidement à des modifications de son environnement sensoriel, il se retrouve vite exposé à des stimulations désagréables et inappropriées. Nos résultats montrent qu'il est déjà doté de capacités tactiles réelles, ainsi certaines applications, surtout dans le cadre des soins de développement et du NIDCAP (Als et al., 1994), pourraient être proposées : favoriser l'exploration tactile en respectant les phases de veille / sommeil. Il s'agirait de proposer des stimulations tactiles harmonieuses, équilibrées et non douloureuses. Dans tous les cas, il semble primordial de privilégier la liberté de mouvements de l'enfant prématuré pour lui permettre d'explorer le monde qui l'entoure et donc d'éviter au maximum toute contention (moufles, mains attachées, etc.). De même, le respect des phases de veille / sommeil est primordial lorsqu'on veut proposer une stimulation à l'enfant prématuré pour un bon développement cérébral.

La modalité tactile seule est donc fonctionnelle chez les enfants prématurés. Cependant, des recherches sur l'intermodalité toucher / vision ont mis en évidence des déficits pour transférer des informations de la modalité tactile à la modalité visuelle chez les enfants prématurés (Rose, Gottfried, & Bridger, 1978, 1979). De plus, ces déficits seraient prédictifs de troubles cognitifs futurs (Rose, Feldman, Jankowski, & Van Rossem, 2005, 2008). Des déficits d'intégration intermodale ont aussi été observés en audio-visuel (Pickens et al., 1994). Il semblerait que les enfants prématurés aient des difficultés à traiter et intégrer des stimulations ayant des provenances sensorielles différentes. Ces difficultés sont certainement liées à des problèmes de traitement simultané des informations (Arpino et al., 2010) et / ou avec des déficits attentionnels (*1.4.3. Attention, syndrome d'hyperactivité, langage et scolarisation*) mis en évidence chez les enfants prématurés. L'environnement précoce de l'enfant pourrait aussi expliquer en partie ces déficits d'intégration intermodale. Les nouveau-nés prématurés passant leurs premières semaines de vie dans un incubateur, il leur est plus difficile d'accéder aux stimulations issues des différentes modalités sensorielles et ainsi, de les lier pour former une information unifiée et cohérente. L'étude de l'intermodalité en période néonatale pourrait apporter de précieuses informations sur les déficits futurs d'une partie des enfants prématurés.

CONCLUSION

Les enfants prématurés reçoivent des stimulations sensorielles inappropriées lors d'une période critique de leur développement cérébral. La modalité tactile semble être une modalité clé chez les enfants prématurés. Cependant, peu de recherches ont étudié la modalité tactile dans cette population. L'enjeu de ce travail de thèse était d'étudier les compétences tactiles manuelles précoces des enfants prématurés en période néonatale. Pour cela, nous nous sommes intéressés au traitement haptique manuel de la forme des objets sans contrôle de la vision. Ce champ de recherche était resté jusqu'alors inexploré chez les enfants prématurés.

En utilisant une procédure d'habituation / réaction à la nouveauté, nous avons mis en évidence des compétences tactiles précoces en fonction d'une propriété de l'objet particulière, la forme. De la même manière que les nouveau-nés à terme, l'activité manuelle des enfants prématurés qui consiste en une ouverture / fermeture de la main, constituerait une exploration suffisante de l'objet pour encoder, traiter et stocker en mémoire des informations de forme. Une habituation tactile manuelle a été mise en évidence chez les enfants prématurés dès 28 SA. A la suite de cette habituation, une discrimination manuelle de la forme des objets a été observée chez les enfants prématurés. Ces résultats sont similaires à ceux observés chez les nouveau-nés à terme. Les enfants prématurés âgés de 28 à 34 SA ont aussi présenté des compétences de reconnaissance d'un objet familier suite à une interférence (présentation du nouvel objet) contrairement aux enfants âgés de plus de 34 SA. Les résultats particuliers de ce groupe d'âge mettent en évidence des différences qualitatives entre le groupe de petite prématurité et les deux autres groupes plus jeunes. Aucune différence quantitative des performances d'habituation, de réaction à la nouveauté et de reconnaissance d'un objet familier après interférence n'a été mise en évidence entre les trois groupes de prématurité. Enfin, les résultats révèlent également qu'un transfert inter-manuel de la forme est présent chez les enfants prématurés dès 33 SA témoignant de l'existence d'une communication entre les deux hémisphères cérébraux dès 33 SA.

Enfin, nos résultats montrent que l'enfant prématuré est déjà doté de capacités tactiles précoces. Certaines applications, surtout dans le cadre des soins de développement et du NIDCAP, pourraient être proposées : éviter au maximum toute contention, privilégier la liberté de mouvements de l'enfant prématuré et favoriser l'exploration tactile en respectant les phases de veille / sommeil. Il s'agirait donc de proposer des stimulations tactiles harmonieuses, équilibrées et non douloureuses (Berne-Audeoud, Marcus, Lejeune, Gentaz, & Debillon, 2010).

RÉFÉRENCES

Aarnoudse-Moens, C. S., Weisglas-Kuperus, N., van Goudoever, J. B., & Oosterlaan, J. (2009). Meta-analysis of neurobehavioral outcomes in very preterm and/or very low birth weight children. *Pediatrics*, *124*(2), 717-728.

Allen, M. C. (2008). Neurodevelopmental outcomes of preterm infants. *Current Opinion in Neurology*, *21*(2), 123-128.

Allen, M. C., & Capute, A. J. (1986). Assessment of early auditory and visual abilities of extremely premature infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *28*(4), 458-466.

Als, H., Duffy, F. H., & McAnulty, G. B. (1988). Behavioral differences between preterm and full-term newborns as measured with the APIB system scores: I. *Infant Behavior and Development*, *11*(3), 305-318.

Als, H., Duffy, F. H., McAnulty, G. B., Rivkin, M. J., Vajapeyam, S., Mulkern, R. V., et al. (2004). Early experience alters brain function and structure. *Pediatrics*, *113*(4), 846-857.

Als, H., Lawhon, G., Brown, E., Gibes, R., Duffy, F. H., McAnulty, G., et al. (1986). Individualized behavioral and environmental care for the very low birth weight preterm infant at high risk for bronchopulmonary dysplasia: neonatal intensive care unit and developmental outcome. *Pediatrics*, *78*(6), 1123-1132.

Als, H., Lawhon, G., Duffy, F. H., McAnulty, G. B., Gibes-Grossman, R., & Blickman, J. G. (1994). Individualized developmental care for the very low-birth-weight preterm infant. Medical and neurofunctional effects. *Jama*, *272*(11), 853-858.

Anand, K. J., & Scalzo, F. M. (2000). Can adverse neonatal experiences alter brain development and subsequent behavior? *Biology of the Neonate*, *77*(2), 69-82.

Ananth, C. V., Getahun, D., Peltier, M. R., Salihu, H. M., & Vintzileos, A. M. (2006). Recurrence of spontaneous versus medically indicated preterm birth. *American journal of obstetrics and gynecology*, *195*(3), 643-650.

Ananth, C. V., & Vintzileos, A. M. (2006). Epidemiology of preterm birth and its clinical subtypes. *The journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*, *19*(12), 773-782.

Anderson, N. G., Laurent, I., Cook, N., Woodward, L., & Inder, T. E. (2005). Growth rate of corpus callosum in very premature infants. *American Journal of Neuroradiology*, *26*(10), 2685-2690.

Anderson, N. G., Laurent, I., Woodward, L. J., & Inder, T. E. (2006). Detection of impaired growth of the corpus callosum in premature infants. *Pediatrics*, *118*(3), 951-960.

Anderson, P., & Doyle, L. W. (2003). Neurobehavioral outcomes of school-age children born extremely low birth weight or very preterm in the 1990s. *Jama*, *289*(24), 3264-3272.

Ariagno, R. L., Thoman, E. B., Boeddiker, M. A., Kugener, B., Constantinou, J. C., Mirmiran, M., et al. (1997). Developmental care does not alter sleep and development of premature infants. *Pediatrics*, *100*(6), 1026(e1029).

Arichi, T., Moraux, A., Melendez, A., Doria, V., Groppo, M., Merchant, N., et al. (2010). Somatosensory cortical activation identified by functional MRI in preterm and term infants. *Neuroimage*, *49*(3), 2063-2071.

Arpino, C., Compagnone, E., Montanaro, M. L., Cacciatore, D., De Luca, A., Cerulli, A., et al. (2010). Preterm birth and neurodevelopmental outcome: a review. *Child's Nervous System*, *26*(9), 1139-1149.

Atkinson, J., & Braddick, O. (2007). Visual and visuocognitive development in children born very prematurely. *Progress in Brain Research*, *164*, 123-149.

Bartocci, M., Bergqvist, L. L., Lagercrantz, H., & Anand, K. J. (2006). Pain activates cortical areas in the preterm newborn brain. *Pain*, *122*(1-2), 109-117.

Bartocci, M., Winberg, J., Papendieck, G., Mustica, T., Serra, G., & Lagercrantz, H. (2001). Cerebral hemodynamic response to unpleasant odors in the preterm newborn measured by near-infrared spectroscopy. *Pediatric Research*, *50*(3), 324-330.

Bartocci, M., Winberg, J., Ruggiero, C., Bergqvist, L. L., Serra, G., & Lagercrantz, H. (2000). Activation of olfactory cortex in newborn infants after odor stimulation: a functional near-infrared spectroscopy study. *Pediatric Research*, *48*(1), 18-23.

Baxi, L. V., Randolph, P., & Miller, K. (1988). Fetal heart rate response to intrauterine saline solution flush. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *159*(3), 547-549.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2002). *Neurosciences: à la découverte du cerveau*. Paris: Pradel.

Beck, S., Wojdyla, D., Say, L., Betran, A. P., Merialdi, M., Requejo, J. H., et al. (2010). The worldwide incidence of preterm birth: a systematic review of maternal mortality and morbidity. *Bulletin of the World Health Organization*, *88*(1), 31-38.

Berne-Audeoud, F., Marcus, L., Lejeune, F., Gentaz, E., & Debillon, T. (2010). Communiquer par le toucher avec le nouveau-né prématuré. *Soins Pédiatrie-Puériculture*, *256*, 21-23.

Bhutta, A. T., & Anand, K. J. (2001). Abnormal cognition and behavior in preterm neonates linked to smaller brain volumes. *Trends in Neurosciences*, *24*(3), 129-132.

Bhutta, A. T., Cleves, M. A., Casey, P. H., Cradock, M. M., & Anand, K. J. (2002). Cognitive and behavioral outcomes of school-aged children who were born preterm: a meta-analysis. *Jama*, *288*(6), 728-737.

Bingham, P. M., Abassi, S., & Sivieri, E. (2003). A pilot study of milk odor effect on nonnutritive sucking by premature newborns. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *157*(1), 72-75.

Bingham, P. M., Churchill, D., & Ashikaga, T. (2007). Breast milk odor via olfactometer for tube-fed, premature infants. *Behavior Research Methods*, *39*(3), 630-634.

Bisiacchi, P. S., Mento, G., & Suppiej, A. (2009). Cortical auditory processing in preterm newborns: an ERP study. *Biological Psychology*, *82*(2), 176-185.

Blauw-Hospers, C. H., & Hadders-Algra, M. (2005). A systematic review of the effects of early intervention on motor development. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *47*(6), 421-432.

Bloch, H., Lequien, P., & Provasi, J. (2003). *L'enfant prématuré*. Paris: Armand Colin.

Bloom, J. S., & Hynd, G. W. (2005). The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? *Neuropsychology Review*, *15*(2), 59-71.

Bohm, B., Katz-Salamon, M., Institute, K., Smedler, A. C., Lagercrantz, H., & Forssberg, H. (2002). Developmental risks and protective factors for influencing cognitive outcome at 5 1/2 years of age in very-low-birthweight children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *44*(8), 508-516.

Bonin, M., Pomerleau, A., & Malcuit, G. (1998). A longitudinal study of visual attention and psychomotor development in preterm and full-term infants during the first six months of life. *Infant Behavior and Development*, *21*(1), 103-118.

Bonnier, C. (2008). Evaluation of early stimulation programs for enhancing brain development. *Acta Paediatrica*, *97*(7), 853-858.

Bornstein, M. H. (1998). Stability in mental development from early life: methods, measures, models, meanings and myths. In F. Simion & G. Butterworth (Eds.), *The development of sensory, motor, and cognitive capacities in early infancy. From perception to cognition* (pp. 301-332). Hove, UK: Psychology Press.

Brazelton, T. B., & Nugent, J. K. (1995). *Neonatal Behavioral Assessment Scale* (3rd ed.). London: Mac Keith Press.

Brown, J. V. (2008). Chemosensory development in the fetus and newborn. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, *8*(4), 180-186.

Bushnell, E. W., & Boudreau, J. P. (1991). The development of haptic perception during infancy. In M. Heller & W. Schiff (Eds.), *The psychology of touch* (pp. 139-161). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Bushnell, E. W., & Boudreau, J. P. (1993). Motor development and the mind: the potential role of motor abilities as a determinant of aspects of perceptual development. *Child Development*, *64*(4), 1005-1021.

Bushnell, E. W., & Boudreau, J. P. (1998). Exploring and exploiting objects with the hands during infancy. In K. J. Connolly (Ed.), *The psychobiology of the hand* (pp. 144-161). London: Mac Keith Press.

Caldu, X., Narberhaus, A., Junque, C., Gimenez, M., Vendrell, P., Bargallo, N., et al. (2006). Corpus callosum size and neuropsychologic impairment in adolescents who were born preterm. *Journal of Child Neurology*, *21*(5), 406-410.

Caplan, P. J., & Kinsbourne, M. (1976). Baby drops the rattle: asymmetry of duration of grasp by infants. *Child Development*, *47*(2), 532-534.

Castral, T. C., Warnock, F., Leite, A. M., Haas, V. J., & Scochi, C. G. (2008). The effects of skin-to-skin contact during acute pain in preterm newborns. *European Journal of Pain, 12*(4), 464-471.

Catherwood, D. (1993). The robustness of infant haptic memory: testing its capacity to withstand delay and haptic interference. *Child Development, 64*(3), 702-710.

Charpak, N., Ruiz-Pelaez, J. G., Figueroa de, C. Z., & Charpak, Y. (2001). A randomized, controlled trial of kangaroo mother care: results of follow-up at 1 year of corrected age. *Pediatrics, 108*(5), 1072-1079.

Chen, H. L., Chen, C. H., Wu, C. C., Huang, H. J., Wang, T. M., & Hsu, C. C. (2009). The influence of neonatal intensive care unit design on sound level. *Pediatrics and Neonatology, 50*(6), 270-274.

Cherkes-Julkowski, M. (1998). Learning disability, attention-deficit disorder, and language impairment as outcomes of prematurity: a longitudinal descriptive study. *Journal of Learning Disabilities, 31*(3), 294-306.

Chyi, L. J., Lee, H. C., Hintz, S. R., Gould, J. B., & Sutcliffe, T. L. (2008). School outcomes of late preterm infants: special needs and challenges for infants born at 32 to 36 weeks gestation. *The Journal of Pediatrics, 153*(1), 25-31.

Clark, S. L., Gimovsky, M. L., & Miller, F. C. (1982). Fetal heart rate response to scalp blood sampling. *American Journal of Obstetrics and Gynecology 144*(6), 706-708.

Clark, S. L., Gimovsky, M. L., & Miller, F. C. (1984). The scalp stimulation test: a clinical alternative to fetal scalp blood sampling. *American Journal of Obstetrics and Gynecology 148*(3), 274-277.

Conde-Agudelo, A., Diaz-Rossello, J. L., & Belizan, J. M. (2003). Kangaroo mother care to reduce morbidity and mortality in low birthweight infants. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2*, CD002771.

Copper, R. L., Goldenberg, R. L., Das, A., Elder, N., Swain, M., Norman, G., et al. (1996). The preterm prediction study: maternal stress is associated with spontaneous preterm birth at less than thirty-five weeks' gestation. National Institute of Child Health and Human Development Maternal-Fetal Medicine Units Network. *American journal of obstetrics and gynecology, 175*(5), 1286-1292.

Dalla Piazza, S. (1997). *L'enfant prématuré: le point sur la question.* Bruxelles: De Boeck Université.

Dalla Piazza, S., & Lamotte, P. J. (2009). *Naître trop tôt: La prématurité expliquée aux parents et futurs parents.* Bruxelles: De Boeck.

Dammann, O., Brinkhaus, M. J., Bartels, D. B., Dordelmann, M., Dressler, F., Kerk, J., et al. (2009). Immaturity, perinatal inflammation, and retinopathy of prematurity: a multi-hit hypothesis. *Early Human Development, 85*(5), 325-329.

de Vries, J. I., Visser, G. H., & Prechtl, H. F. (1982). The emergence of fetal behaviour. I. Qualitative aspects. *Early Human Development, 7*(4), 301-322.

Diego, M. A., Field, T. M., & Hernandez-Reif, M. (2009). Procedural pain heart rate responses in massaged preterm infants. *Infant Behavior and Development*, *32*(2), 226-229.

Doron, K. W., & Gazzaniga, M. S. (2008). Neuroimaging techniques offer new perspectives on callosal transfer and interhemispheric communication. *Cortex*, *44*(8), 1023-1029.

Dubois, J., Hertz-Pannier, L., Dehaene-Lambertz, G., Cointepas, Y., & Le Bihan, D. (2006). Assessment of the early organization and maturation of infants' cerebral white matter fiber bundles: a feasibility study using quantitative diffusion tensor imaging and tractography. *Neuroimage*, *30*(4), 1121-1132.

Dubowitz, L. M., Dubowitz, V., Morante, A., & Verghote, M. (1980). Visual function in the preterm and fullterm newborn infant. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *22*(4), 465-475.

Dubowitz, L. M., Mushin, J., De Vries, L., & Arden, G. B. (1986). Visual function in the newborn infant: is it cortically mediated? *The Lancet*, *1*(8490), 1139-1141.

Fabri, M., Del Pesce, M., Paggi, A., Polonara, G., Bartolini, M., Salvolini, U., et al. (2005). Contribution of posterior corpus callosum to the interhemispheric transfer of tactile information. *Cognitive Brain Research*, *24*(1), 73-80.

Fabri, M., Polonara, G., Del Pesce, M., Quattrini, A., Salvolini, U., & Manzoni, T. (2001). Posterior corpus callosum and interhemispheric transfer of somatosensory information: an fMRI and neuropsychological study of a partially callosotomized patient. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*(8), 1071-1079.

Fantz, R. L. (1963). Pattern Vision in Newborn Infants. *Science*, *140*(3564), 296-297.

Farooqi, A., Hagglof, B., Sedin, G., Gothefors, L., & Serenius, F. (2006). Chronic conditions, functional limitations, and special health care needs in 10- to 12-year-old children born at 23 to 25 weeks' gestation in the 1990s: a Swedish national prospective follow-up study. *Pediatrics*, *118*(5), e1466-1477.

Fearon, I., Hains, S. M. J., Muir, D. W., & Kisilevsky, B. S. (2002). Development of tactile responses in human preterm and full-term infants from 30 to 40 weeks postconceptional age. *Infancy*, *3*(1), 31-51.

Feldman, R. (2002). Les programmes d'intervention pour les enfants prématurés et leur impact sur le développement: et trop et pas assez. *Devenir*, *23*, 239-263.

Feldman, R., & Eidelman, A. I. (2003). Skin-to-skin contact (Kangaroo Care) accelerates autonomic and neurobehavioural maturation in preterm infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *45*(4), 274-281.

Feldman, R., Eidelman, A. I., Sirota, L., & Weller, A. (2002). Comparison of skin-to-skin (kangaroo) and traditional care: parenting outcomes and preterm infant development. *Pediatrics*, *110*(1 Pt 1), 16-26.

Feldman, R., Weller, A., Sirota, L., & Eidelman, A. I. (2002). Skin-to-Skin contact (Kangaroo care) promotes self-regulation in premature infants: sleep-wake cyclicity, arousal modulation, and sustained exploration. *Developmental Psychology*, *38*(2), 194-207.

Field, T. M., Dempsey, J. R., Hatch, J., Ting, G., & Clifton, R. K. (1979). Cardiac and behavioral responses to repeated tactile and auditory stimulation by preterm and term neonates. *Developmental Psychology, 15*(4), 406-416.

Field, T. M., Diego, M., & Hernandez-Reif, M. (2010). Preterm infant massage therapy research: A review. *Infant Behavior and Development, 33*(2), 115-124.

Field, T. M., Schanberg, S. M., Scafidi, F., Bauer, C. R., Vega-Lahr, N., Garcia, R., et al. (1986). Tactile/kinesthetic stimulation effects on preterm neonates. *Pediatrics, 77*(5), 654-658.

Field, T. M., Woodson, R., Cohen, D., Greenberg, R., Garcia, R., & Collins, K. (1983). Discrimination and imitation of facial expressions by term and preterm neonates. *Infant Behavior and Development, 6*(4), 485-489.

Fitzgerald, M., Millard, C., & McIntosh, N. (1989). Cutaneous hypersensitivity following peripheral tissue damage in newborn infants and its reversal with topical anaesthesia. *Pain, 39*(1), 31-36.

Garcia, A. P., & White-Traut, R. (1993). Preterm infants' responses to taste/smell and tactile stimulation during an apneic episode. *Journal of Pediatric Nursing, 8*(4), 245-252.

Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: does the corpus callosum enable the human condition? *Brain, 123*(7), 1293-1326.

Gentaz, E. (2000). Caractéristiques générales de l'organisation anatomo-fonctionnelle de la perception cutanée et haptique. In Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie de la perception tactile manuelle* (pp. 19-34). Paris: PUF.

Gentaz, E. (2003). General characteristics of the anatomical and functional organization of cutaneous and haptic perceptions. In Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (Eds.), *Touching for knowing: cognitive psychology of haptic manual perception* (pp. 17-31). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamin Publishing Company.

Giannakoulopoulos, X., Sepulveda, W., Kourtis, P., Glover, V., & Fisk, N. M. (1994). Fetal plasma cortisol and beta-endorphin response to intrauterine needling. *The Lancet, 344*(8915), 777-781.

Giannakoulopoulos, X., Teixeira, J., Fisk, N., & Glover, V. (1999). Human fetal and maternal noradrenaline responses to invasive procedures. *Pediatric Research, 45*(4), 494-499.

Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems.* Boston: Houghton Mifflin.

Gimenez, M., Miranda, M. J., Born, A. P., Nagy, Z., Rostrup, E., & Jernigan, T. L. (2008). Accelerated cerebral white matter development in preterm infants: a voxel-based morphometry study with diffusion tensor MR imaging. *Neuroimage, 41*(3), 728-734.

Goldenberg, R. L., Culhane, J. F., Iams, J. D., & Romero, R. (2008). Epidemiology and causes of preterm birth. *The Lancet, 371*(9606), 75-84.

Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Alléman, E., Bullinger, A., & Lequien, P. (2002). Olfactory familiarization and discrimination in preterm and full-term newborns. *Infancy*, *3*(1), 53-75.

Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Bullinger, A., & Lequien, P. (2003). Olfactory experience mediates response to pain in preterm newborns. *Developmental Psychobiology*, *42*(2), 171-180.

Gozzo, Y., Vohr, B., Lacadie, C., Hampson, M., Katz, K. H., Maller-Kesselman, J., et al. (2009). Alterations in neural connectivity in preterm children at school age. *Neuroimage*, *48*(2), 458-463.

Granier-Deferre, C., Schaal, B., & DeCasper, A. J. (2004). Les prémices foetales de la cognition. In R. Lécuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson* (pp. 103-138). Paris: Dunod.

Graven, S. N. (2000). Sound and the developing infant in the NICU: conclusions and recommendations for care. *Journal of Perinatology*, *20*(8), S88-S93.

Gunnar, M. R., Isensee, J., & Fust, L. S. (1987). Adrenocortical activity and the Brazelton Neonatal Assessment Scale: moderating effects of the newborn's biomedical status. *Child Development*, *58*(6), 1448-1458.

Guzzetta, A., Baldini, S., Bancale, A., Baroncelli, L., Ciucci, F., Ghirri, P., et al. (2009). Massage accelerates brain development and the maturation of visual function. *Journal of Neuroscience*, *29*(18), 6042-6051.

Hack, M., Taylor, H. G., Drotar, D., Schluchter, M., Cartar, L., Andreias, L., et al. (2005). Chronic conditions, functional limitations, and special health care needs of school-aged children born with extremely low-birth-weight in the 1990s. *Jama*, *294*(3), 318-325.

Hall, R. W., Huitt, T. W., Thapa, R., Williams, D. K., Anand, K. J., & Garcia-Rill, E. (2008). Long-term deficits of preterm birth: evidence for arousal and attentional disturbances. *Clinical Neurophysiology*, *119*(6), 1281-1291.

Hansen, V., & Haumont, D. (2005). Design and staff issues in light control. In J. Sizun & J. V. Browne (Eds.), *Research on early developmental care for preterm neonates* (pp. 45-49). Paris: John Libbey Eurotext.

Hao, H., & Rivkees, S. A. (1999). The biological clock of very premature primate infants is responsive to light. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A*, *96*(5), 2426-2429.

Harrison, L. L., Williams, A. K., Berbaum, M. L., Stem, J. T., & Leeper, J. (2000). Physiologic and behavioral effects of gentle human touch on preterm infants. *Research in Nursing & Health*, *23*(6), 435-446.

Hata, T., Matsuura, H., Miyata, M., Yoshitani, Y., Nagaoka, S., Sano, Y., et al. (2005). Autonomic modulation of sinus and atrioventricular nodes in premature low-birth-weight infants. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, *28*(S1), S288-291.

Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace. La main et la perception tactile de l'espace*. Lille: Presses Universitaires.

Hatwell, Y. (1994). Transferts intermodaux et intégration intermodale. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale* (pp. 543-584). Paris: Presses Universitaires de France.

Hellerud, B. C., & Storm, H. (2002). Skin conductance and behaviour during sensory stimulation of preterm and term infants. *Early Human Development, 70*(1-2), 35-46.

Hermann, C., Hohmeister, J., Demirakca, S., Zohsel, K., & Flor, H. (2006). Long-term alteration of pain sensitivity in school-aged children with early pain experiences. *Pain, 125*(3), 278-285.

Hernandez-Reif, M., Diego, M., & Field, T. M. (2007). Preterm infants show reduced stress behaviors and activity after 5 days of massage therapy. *Infant Behavior and Development, 30*(4), 557-561.

Hernandez-Reif, M., Field, T., Diego, M., & Largie, S. (2001). Weight perception by newborns of depressed versus non-depressed mothers. *Infant Behavior and Development, 24*(3), 305-316.

Hintz, S. R., Kendrick, D. E., Vohr, B. R., Poole, W. K., & Higgins, R. D. (2005). Changes in neurodevelopmental outcomes at 18 to 22 months' corrected age among infants of less than 25 weeks' gestational age born in 1993-1999. *Pediatrics, 115*(6), 1645-1651.

Holmstrom, G., Rydberg, A., & Larsson, E. (2006). Prevalence and development of strabismus in 10-year-old premature children: a population-based study. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus, 43*(6), 346-352.

Holsti, L., Grunau, R. E., Oberlander, T. F., Whitfield, M. F., & Weinberg, J. (2005). Body movements: an important additional factor in discriminating pain from stress in preterm infants. *Clinical Journal of Pain, 21*(6), 491-498.

Hooker, D. (1938). The origin of the grasping movement in man. *Proceedings of the American Philosophical Society, 79*, 597-606.

Hooker, D. (1952). *The Prenatal Origin of Behavior*. Lawrence, KS: University of Kansas Press.

Hoyt, C. S. (2003). Visual function in the brain-damaged child. *Eye, 17*(3), 369-384.

Humphrey, T. (1964). Some correlations between the appearance of human fetal reflexes and the development of the nervous system. *Progress in Brain Research, 4*, 93-135.

Humphrey, T. (1970). The development of human fetal activity and its relation to postnatal behavior. In H. Reese & L. Lipsitt (Eds.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 5, pp. 1-52). New-York: Academic Press.

Hunnius, S., Geuze, R. H., Zweens, M. J., & Bos, A. F. (2008). Effects of preterm experience on the developing visual system: a longitudinal study of shifts of attention and gaze in early infancy. *Developmental Neuropsychology, 33*(4), 521-535.

Huppi, P. S., Maier, S. E., Peled, S., Zientara, G. P., Barnes, P. D., Jolesz, F. A., et al. (1998). Microstructural development of human newborn cerebral white matter assessed in vivo by diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Pediatric Research*, *44*(4), 584-590.

Iwamura, Y., Tanaka, M., Sakamoto, M., & Hikosaka, O. (1993). Rostrocaudal gradients in the neuronal receptive field complexity in the finger region of the alert monkey's postcentral gyrus. *Experimental Brain Research*, *92*(3), 360-368.

Jacobs, S. E., Sokol, J., & Ohlsson, A. (2002). The Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program is not supported by meta-analyses of the data. *The Journal of Pediatrics*, *140*(6), 699-706.

Johnson, A. N. (2001). Neonatal response to control of noise inside the incubator. *Pediatric Nursing*, *27*(6), 600-605.

Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1992). Neural mechanisms of tactual form and texture perception. *Annual Review of Neuroscience*, *15*, 227-250.

Johnston, C. C., Filion, F., Campbell-Yeo, M., Goulet, C., Bell, L., McNaughton, K., et al. (2008). Kangaroo mother care diminishes pain from heel lance in very preterm neonates: a crossover trial. *BMC Pediatrics*, *8*, 13.

Johnston, C. C., & Stevens, B. J. (1996). Experience in a neonatal intensive care unit affects pain response. *Pediatrics*, *98*(5), 925-930.

Jouen, F., & Molina, M. (2005). Exploration of the newborn's manual activity: a window onto early cognitive processes. *Infant Behavior and Development*, *28*(3), 227-239.

Kaas, J. H. (1993). The functional organization of somatosensory cortex in primates. *Annals of Anatomy 175*(6), 509-518.

Kavsek, M., & Bornstein, M. H. (2010). Visual habituation and dishabituation in preterm infants: a review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, *31*(5), 951-975.

Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Reed, C. L. (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), 356-369.

Kleberg, A., Westrup, B., & Stjernqvist, K. (2000). Developmental outcome, child behaviour and mother-child interaction at 3 years of age following Newborn Individualized Developmental Care and Intervention Program (NIDCAP) intervention. *Early Human Development*, *60*(2), 123-135.

Kontis, D., Catani, M., Cuddy, M., Walshe, M., Nosarti, C., Jones, D., et al. (2009). Diffusion tensor MRI of the corpus callosum and cognitive function in adults born preterm. *NeuroReport*, *20*(4), 424-428.

Kopp, C. B., Sigman, M., Parmelee, A. H., & Jeffrey, W. E. (1975). Neurological organization and visual fixation in infants at 40 weeks conceptional age. *Developmental Psychobiology*, *8*(2), 165-170.

Korner, A. F. (1990). Infant stimulation. Issues of theory and research. *Clinics in Perinatology, 17*(1), 173-184.

Kostovic, I., & Jovanov-Milosevic, N. (2006). The development of cerebral connections during the first 20-45 weeks' gestation. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine, 11*(6), 415-422.

Lago, P., Garetti, E., Merazzi, D., Pieragostini, L., Ancora, G., Pirelli, A., et al. (2009). Guidelines for procedural pain in the newborn. *Acta Paediatrica, 98*(6), 932-939.

Larroque, B., Ancel, P. Y., Marret, S., Marchand, L., Andre, M., Arnaud, C., et al. (2008). Neurodevelopmental disabilities and special care of 5-year-old children born before 33 weeks of gestation (the EPIPAGE study): a longitudinal cohort study. *The Lancet, 371*(9615), 813-820.

Lary, S., Briassoulis, G., de Vries, L., Dubowitz, L. M., & Dubowitz, V. (1985). Hearing threshold in preterm and term infants by auditory brainstem response. *Journal of Pediatrics, 107*(4), 593-599.

Lawn, J. E., Mwansa-Kambafwile, J., Horta, B. L., Barros, F. C., & Cousens, S. (2010). 'Kangaroo mother care' to prevent neonatal deaths due to preterm birth complications. *International Journal of Epidemiology, 39 (S1)*, i144-154.

Lawson, K. R., & Ruff, H. A. (2004). Early focused attention predicts outcome for children born prematurely. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics, 25*(6), 399-406.

Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: a window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology, 19*(3), 342-368.

Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1993). Extracting object properties through haptic exploration. *Acta Psychologica (Amst), 84*(1), 29-40.

Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1997). Relative availability of surface and object properties during early haptic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23*(6), 1680-1707.

Lejeune, F., Audeoud, F., Marcus, L., Streri, A., Debillon, T., & 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. doi:9110.1371 / journal.pone.0009108.

Lhote, M., & Streri, A. (1998). Haptic memory and handedness in 2-month-old infants. *Laterality, 3*(2), 173-192.

Lhote, M., & Streri, A. (2003). La mémoire haptique de la forme des objets chez les bébés âgés de 4 mois. *L'année Psychologique, 103*(1), 33-50.

Lucas-Thompson, R., Townsend, E. L., Gunnar, M. R., Georgieff, M. K., Guiang, S. F., Ciffuentes, R. F., et al. (2008). Developmental changes in the responses of preterm infants to a painful stressor. *Infant Behavior and Development, 31*(4), 614-623.

Maguire, C. M., Walther, F. J., Sprij, A. J., Le Cessie, S., Wit, J. M., & Veen, S. (2009). Effects of individualized developmental care in a randomized trial of preterm infants <32 weeks. *Pediatrics*, *124*(4), 1021-1030.

Maguire, C. M., Walther, F. J., van Zwieten, P. H., Le Cessie, S., Wit, J. M., & Veen, S. (2009). Follow-up outcomes at 1 and 2 years of infants born less than 32 weeks after Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program. *Pediatrics*, *123*(4), 1081-1087.

Marlier, L. (2009). Emergence et développement précoce des préférences olfactives et alimentaires. *Archives de Pediatrie*, *16*(6), 532-534.

Marlier, L., Gaugler, C., Astruc, D., & Messer, J. (2007). La sensibilité olfactive du nouveau-né prématuré. *Archives de Pédiatrie*, *14*(1), 45-53.

Marlier, L., Schaal, B., Gaugler, C., & Messer, J. (2001). Olfaction in premature human newborns: detection and discrimination abilities two months before birth. In A. Marchlewska-Koj, J. Leprik & D. Muller-Schwarze (Eds.), *Chemical signals in vertebrates* (Vol. 9, pp. 205-209). New York: Kluwer-Plenum.

Marlow, N., Wolke, D., Bracewell, M. A., & Samara, M. (2005). Neurologic and developmental disability at six years of age after extremely preterm birth. *The New England Journal of Medicine*, *352*(1), 9-19.

Marret, S., Ancel, P. Y., Marpeau, L., Marchand, L., Pierrat, V., Larroque, B., et al. (2007). Neonatal and 5-year outcomes after birth at 30-34 weeks of gestation. *Obstetrics and Gynecology*, *110*(1), 72-80.

Mazens, K., & Gentaz, E. (2006). Les nouveau-nés sont-ils capables de voir avec leurs mains ou de toucher avec leurs yeux ? Partie 1 : Etude des prérequis visuels. *Médecine & Enfance*, *26*(1), 46-51.

McAnulty, G. B., Butler, S. C., Bernstein, J. H., Als, H., Duffy, F. H., & Zurakowski, D. (2010). Effects of the Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program (NIDCAP) at age 8 years: preliminary data. *Clinical Pediatrics (Philadelphia)*, *49*(3), 258-270.

McCall, R. B., & Carriger, M. S. (1993). A meta-analysis of infant habituation and recognition memory performance as predictors of later IQ. *Child Development*, *64*(1), 57-79.

McGraw, M. D. (1943). *The neuromuscular maturation of the human infant.* New-York: Columbia University Press.

Mechoulam, H., & Pierce, E. A. (2003). Retinopathy of prematurity: molecular pathology and therapeutic strategies. *American Journal of Pharmacogenomics*, *3*(4), 261-277.

Mellier, D. (2004). Les bébés nés prématurément: quels risques pour leur développement psychologique ? In R. Lécuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson* (pp. 309-346). Paris: Dunod.

Merabet, L., Thut, G., Murray, B., Andrews, J., Hsiao, S., & Pascual-Leone, A. (2004). Feeling by sight or seeing by touch? *Neuron*, *42*(1), 173-179.

Mewes, A. U., Huppi, P. S., Als, H., Rybicki, F. J., Inder, T. E., McAnulty, G. B., et al. (2006). Regional brain development in serial magnetic resonance imaging of low-risk preterm infants. *Pediatrics*, *118*(1), 23-33.

Mikkola, K., Ritari, N., Tommiska, V., Salokorpi, T., Lehtonen, L., Tammela, O., et al. (2005). Neurodevelopmental outcome at 5 years of age of a national cohort of extremely low birth weight infants who were born in 1996-1997. *Pediatrics*, *116*(6), 1391-1400.

Milh, M., Kaminska, A., Huon, C., Lapillonne, A., Ben-Ari, Y., & Khazipov, R. (2007). Rapid cortical oscillations and early motor activity in premature human neonate. *Cerebral Cortex*, *17*(7), 1582-1594.

Miller, C. L., White, R., Whitman, T. L., O'Callaghan, M. F., & Maxwell, S. E. (1995). The effects of cycled versus noncycled lighting on growth and development in preterm infants. *Infant Behavior and Development*, *18*(1), 87-95.

Mirmiran, M., & Ariagno, R. L. (2000). Influence of light in the NICU on the development of circadian rhythms in preterm infants. *Seminars in Perinatology*, *24*(4), 247-257.

Molina, M., Guimpel, B., & Jouen, F. (2006). Weight perception in neonate infants. *Journal of Integrative Neuroscience*, *5*(4), 505-517.

Molina, M., & Jouen, F. (1998). Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. *Infant Behavior and Development*, *21*(4), 659-666.

Molina, M., & Jouen, F. (2004). Manual cyclical activity as an exploratory tool in neonates. *Infant Behavior and Development*, *27*(1), 42-53.

Narberhaus, A., Segarra, D., Caldu, X., Gimenez, M., Junque, C., Pueyo, R., et al. (2007). Gestational age at preterm birth in relation to corpus callosum and general cognitive outcome in adolescents. *Journal of Child Neurology*, *22*(6), 761-765.

Narberhaus, A., Segarra, D., Caldu, X., Gimenez, M., Pueyo, R., Botet, F., et al. (2008). Corpus callosum and prefrontal functions in adolescents with history of very preterm birth. *Neuropsychologia*, *46*(1), 111-116.

Nevalainen, P., Pihko, E., Metsaranta, M., Andersson, S., Autti, T., & Lauronen, L. (2008). Does very premature birth affect the functioning of the somatosensory cortex?--A magnetoencephalography study. *International Journal of Psychophysiology 68*(2), 85-93.

Nosarti, C., Rushe, T. M., Woodruff, P. W., Stewart, A. L., Rifkin, L., & Murray, R. M. (2004). Corpus callosum size and very preterm birth: relationship to neuropsychological outcome. *Brain*, *127*(Pt 9), 2080-2089.

Nyqvist, K. H., Anderson, G. C., Bergman, N., Cattaneo, A., Charpak, N., Davanzo, R., et al. (2010). Towards universal Kangaroo Mother Care: recommendations and report from the First European conference and Seventh International Workshop on Kangaroo Mother Care. *Acta Paediatrica*, *99*(6), 820-826.

O'Sullivan, B. T., Roland, P. E., & Kawashima, R. (1994). A PET study of somatosensory discrimination in man. Microgeometry versus macrogeometry. *European Journal of Neuroscience*, *6*(1), 137-148.

Pascalis, O., & De Haan, M. (2003). Recognition memory and novelty preference: what model? In H. Hayne & J. Fagen (Eds.), *Progress in infancy research* (Vol. 3, pp. 95-120). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Peltier, S., Stilla, R., Mariola, E., LaConte, S., Hu, X., & Sathian, K. (2007). Activity and effective connectivity of parietal and occipital cortical regions during haptic shape perception. *Neuropsychologia, 45*(3), 476-483.

Perlman, J. M. (2001). Neurobehavioral deficits in premature graduates of intensive care--potential medical and neonatal environmental risk factors. *Pediatrics, 108*(6), 1339-1348.

Peters, K. L., Rosychuk, R. J., Hendson, L., Cote, J. J., McPherson, C., & Tyebkhan, J. M. (2009). Improvement of short- and long-term outcomes for very low birth weight infants: Edmonton NIDCAP trial. *Pediatrics, 124*(4), 1009-1020.

Peterson, B. S., Anderson, A. W., Ehrenkranz, R., Staib, L. H., Tageldin, M., Colson, E., et al. (2003). Regional brain volumes and their later neurodevelopmental correlates in term and preterm infants. *Pediatrics, 111*(5), 939-948.

Peterson, B. S., Vohr, B., Staib, L. H., Cannistraci, C. J., Dolberg, A., Schneider, K. C., et al. (2000). Regional brain volume abnormalities and long-term cognitive outcome in preterm infants. *Jama, 284*(15), 1939-1947.

Petrie, B. F., & Peters, M. (1980). Handedness: left/right differences in intensity of grasp response and duration of rattle holding in infants. *Infant Behavior and Development, 3*, 215-221.

Pickens, J., Field, T., Nawrocki, T., Martinez, A., Soutullo, D., & Gonzalez, J. (1994). Full-term and preterm infants' perception of face-voice synchrony. *Infant Behavior and Development, 17*(4), 447-455.

Pihet, S., Mellier, D., Bullinger, A., & Schaal, B. (1997). Réponses comportementales aux odeurs chez le nouveau-né prématuré: étude préliminaire. *Enfance, 1*, 33-46.

Procianoy, R. S., Mendes, E. W., & Silveira, R. C. (2010). Massage therapy improves neurodevelopment outcome at two years corrected age for very low birth weight infants. *Early Human Development, 86*(1), 7-11.

Puolakka, J., Kauppila, A., Leppaluoto, J., & Vuolteenaho, O. (1982). Elevated beta-endorphin immunoreactivity in umbilical cord blood after complicated delivery. *Acta Obstetricia et Gynacologica Scandinavica 61*(6), 513-514.

Rademaker, K. J., Lam, J. N., Van Haastert, I. C., Uiterwaal, C. S., Lieftink, A. F., Groenendaal, F., et al. (2004). Larger corpus callosum size with better motor performance in prematurely born children. *Seminars in Perinatology, 28*(4), 279-287.

Revesz, G. (1950). *Psychology and art of the blind.* London: Longmans Green.

Ricci, D., Cesarini, L., Groppo, M., De Carli, A., Gallini, F., Serrao, F., et al. (2008). Early assessment of visual function in full term newborns. *Early Human Development, 84*(2), 107-113.

Ricci, D., Cesarini, L., Romeo, D. M., Gallini, F., Serrao, F., Groppo, M., et al. (2008). Visual function at 35 and 40 weeks' postmenstrual age in low-risk preterm infants. *Pediatrics*, *122*(6), e1193-1198.

Ricci, D., Romeo, D. M., Serrao, F., Gallini, F., Leone, D., Longo, M., et al. (2010). Early assessment of visual function in preterm infants: how early is early? *Early Human Development*, *86*(1), 29-33.

Robinson, J., Moseley, M. J., Thompson, J. R., & Fielder, A. R. (1989). Eyelid opening in preterm neonates. *Archives of Disease in Childhood*, *64*(7), 943-948.

Rochat, P. (1987). Mouthing and grasping in neonates: evidence for the early detection of what hard or soft substances afford for action. *Infant Behavior and Development*, *10*(4), 435-449.

Roland, P. E., & Mortensen, E. (1987). Somatosensory detection of microgeometry, macrogeometry and kinesthesia in man. *Brain Research*, *434*(1), 1-42.

Roland, P. E., O'Sullivan, B., & Kawashima, R. (1998). Shape and roughness activate different somatosensory areas in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A*, *95*(6), 3295-3300.

Romero, R., Espinoza, J., Kusanovic, J. P., Gotsch, F., Hassan, S., Erez, O., et al. (2006). The preterm parturition syndrome. *Bjog*, *113*(S3), 17-42.

Rose, S. A. (1980). Enhancing visual recognition memory in preterm infants. *Developmental Psychology*, *16*(2), 85-92.

Rose, S. A. (1983). Differential rates of visual information processing in full-term and preterm infants. *Child Development*, *54*(5), 1189-1198.

Rose, S. A., & Feldman, J. F. (1995). Prediction of IQ and specific cognitive abilities at 11 years from infancy measures. *Developmental Psychology*, *31*(4), 685-696.

Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J., & Van Rossem, R. (2005). Pathways from prematurity and infant abilities to later cognition. *Child Development*, *76*(6), 1172-1184.

Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J., & Van Rossem, R. (2008). A cognitive cascade in infancy: pathways from prematurity to later mental development. *Intelligence*, *36*(4), 367-378.

Rose, S. A., Feldman, J. F., McCarton, C. M., & Wolfson, J. (1988). Information processing in seven-month-old infants as a function of risk status. *Child Development*, *59*(3), 589-603.

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.

Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1979). Effects of Haptic Cues on visual recognition memory in fullterm and preterm infants. *Infant Behavior and Development*, *2*, 55-67.

Rose, S. A., Schmidt, K., & Bridger, W. H. (1976). Cardiac and behavioral responsivity to tactile stimulation in premature and full-term infants. *Developmental Psychology, 12*(4), 311-320.

Rose, S. A., Schmidt, K., Riese, M. L., & Bridger, W. H. (1980). Effects of prematurity and early intervention on responsivity to tactual stimuli: a comparison of preterm and full-term infants. *Child Development, 51*(2), 416-425.

Ruff, H. A., McCarton, C., Kurtzberg, D., & Vaughan, H. G., Jr. (1984). Preterm infants' manipulative exploration of objects. *Child Development, 55*(4), 1166-1173.

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.

Sann, C., & Streri, A. (2008). Inter-manual transfer of object texture and shape in human neonates. *Neuropsychologia, 46*(2), 698-703.

Scafidi, F. A., Field, T. M., Schanberg, S. M., Bauer, C. R., Vega-Lahr, N., Garcia, R., et al. (1986). Effects of tactile/kinesthetic stimulation on the clinical course and sleep/wake behavior of preterm neonates. *Infant behavior and development, 9*(1), 91-105.

Segall, M. E. (1972). Cardiac responsivity to auditory stimulation in premature infants. *Nursing Research, 21*(1), 15-19.

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.

Servos, P., Lederman, S., Wilson, D., & Gati, J. (2001). fMRI-derived cortical maps for haptic shape, texture, and hardness. *Cognitive Brain Research, 12*(2), 307-313.

Shankaran, S., Johnson, Y., Langer, J. C., Vohr, B. R., Fanaroff, A. A., Wright, L. L., et al. (2004). Outcome of extremely-low-birth-weight infants at highest risk: gestational age < or =24 weeks, birth weight < or =750 g, and 1-minute Apgar < or =3. *American Journal of Obstetrics and Gynecology 191*(4), 1084-1091.

Shum, D., Neulinger, K., O'Callaghan, M., & Mohay, H. (2008). Attentional problems in children born very preterm or with extremely low birth weight at 7-9 years. *Archives of Clinical Neuropsychology, 23*(1), 103-112.

Sigman, M. (1976). Early development of preterm and full-term infants: Exploratory behavior in eight-month-olds. *Child Development, 47*(3), 606-612.

Sigman, M., Kopp, C. B., Littman, B., & Parmelee, A. H. (1977). Infant visual attentiveness in relation to birth condition. *Developmental Psychology, 13*(5), 431-437.

Simon, S. R., Lazeyras, F., Sigrist, A. D., Ecoffey, M., Guatieri, S., Van De Ville, D., et al. (2009). FMRI study of newborn perception of mother's voice: a comparative study of premature infants at term age and term born neonates. *Neuroimage, 47*(S1), S54.

Simons, S. H., van Dijk, M., Anand, K. S., Roofthooft, D., van Lingen, R. A., & Tibboel, D. (2003). Do we still hurt newborn babies? A prospective study of procedural pain and analgesia in neonates. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *157*(11), 1058-1064.

Slater, R., Fabrizi, L., Worley, A., Meek, J., Boyd, S., & Fitzgerald, M. (2010). Premature infants display increased noxious-evoked neuronal activity in the brain compared to healthy age-matched term-born infants. *Neuroimage*, *52*(2), 583-589.

Slater, R., Fitzgerald, M., & Meek, J. (2007). Can cortical responses following noxious stimulation inform us about pain processing in neonates? *Seminars in Perinatology*, *31*(5), 298-302.

Slater, R., Worley, A., Fabrizi, L., Roberts, S., Meek, J., Boyd, S., et al. (2010). Evoked potentials generated by noxious stimulation in the human infant brain. *European Journal of Pain*, *14*(3), 321-326.

Soroka, S. M., Corter, C. M., & Abramovitch, R. (1979). Infants' tactual discrimination of novel and familiar tactual stimuli. *Child Development*, *50*(4), 1251-1253.

Stephens, B. E., & Vohr, B. R. (2009). Neurodevelopmental outcome of the premature infant. *Pediatric Clinics of North America*, *56*(3), 631-646.

Stilla, R., & Sathian, K. (2008). Selective visuo-haptic processing of shape and texture. *Human Brain Mapping*, *29*(10), 1123-1138.

Stirnimann, F. (1936). Le goût et l'odorat du nouveau-né. *Journal de Pédiatrie*, *XII*, 453-485.

Streri, A., Lemoine, C., & Devouche, E. (2008). Development of inter-manual transfer of shape information in infancy. *Developmental Psychobiology*, *50*(1), 70-76.

Streri, A., Lhote, M., & Dutilleul, S. (2000). Haptic perception in newborns. *Developmental Science*, *3*(3), 319-327.

Streri, A., & Pecheux, M. G. (1986). Tactual habituation and discrimination of form in infancy: a comparison with vision. *Child Development*, *57*(1), 100-104.

Szatmari, P., Saigal, S., Rosenbaum, P., & Campbell, D. (2008). Psychopathology and adaptive functioning among extremely low birthweight children at eight years of age. *Development and Psychopathology*, *5*(3), 345-357.

Szatmari, P., Saigal, S., Rosenbaum, P., Campbell, D., & King, S. (1990). Psychiatric disorders at five years among children with birthweights less than 1000g: a regional perspective. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *32*(11), 954-962.

Tatzer, E., Schubert, M. T., Timischl, W., & Simbruner, G. (1985). Discrimination of taste and preference for sweet in premature babies. *Early Human Development*, *12*(1), 23-30.

Taylor, M. J., Boor, R., & Ekert, P. G. (1996). Preterm maturation of the somatosensory evoked potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *100*(5), 448-452.

Taylor, N. M., Jakobson, L. S., Maurer, D., & Lewis, T. L. (2009). Differential vulnerability of global motion, global form, and biological motion processing in full-term and preterm children. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2766-2778.

Tessier, R., Cristo, M. B., Velez, S., Giron, M., Nadeau, L., Figueroa de Calume, Z., et al. (2003). Kangaroo Mother Care: a method for protecting high-risk low-birth-weight and premature infants against developmental delay. *Infant Behavior and Development*, *26*(3), 384-397.

Therien, J. M., Worwa, C. T., Mattia, F. R., & deRegnier, R. A. (2004). Altered pathways for auditory discrimination and recognition memory in preterm infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *46*(12), 816-824.

Thompson, J. M., Irgens, L. M., Rasmussen, S., & Daltveit, A. K. (2006). Secular trends in socio-economic status and the implications for preterm birth. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, *20*(3), 182-187.

Tideman, E. (2000). Longitudinal follow-up of children born preterm: cognitive development at age 19. *Early Human Development*, *58*(2), 81-90.

Toledo, A. M., & Tudella, E. (2008). The development of reaching behavior in low-risk preterm infants. *Infant Behavior and Development*, *31*(3), 398-407.

Tombini, M., Pasqualetti, P., Rizzo, C., Zappasodi, F., Dinatale, A., Seminara, M., et al. (2009). Extrauterine maturation of somatosensory pathways in preterm infants: a somatosensory evoked potential study. *Clinical Neurophysiology*, *120*(4), 783-789.

Twitchell, T. E. (1965). The automatic grasping response of infants. *Neuropsychologia*, *3*, 247-259.

Twitchell, T. E. (1970). Reflex mechanisms and development of prehension. In K. J. Connolly (Ed.), *Mechanisms of motor skill development* (pp. 25-38). New-York: Academic Press.

Tzarouchi, L. C., Astrakas, L. G., Xydis, V., Zikou, A., Kosta, P., Drougia, A., et al. (2009). Age-related grey matter changes in preterm infants: an MRI study. *Neuroimage*, *47*(4), 1148-1153.

Vanhatalo, S., Jousmaki, V., Andersson, S., & Metsaranta, M. (2009). An easy and practical method for routine, bedside testing of somatosensory systems in extremely low birth weight infants. *Pediatric Research*, *66*(6), 710-713.

Vickers, A., Ohlsson, A., Lacy, J. B., & Horsley, A. (2004). Massage for promoting growth and development of preterm and/or low birth-weight infants. *Cochrane Database Syst Rev*, *2*, CD000390.

Vilain, A., de Peretti, C., Herbet, J. B., & Blondel, B. (2005). La situation périnatale en France en 2003. Premiers résultats de l'enquête nationale périnatale. *Etudes et Résultats*, *383*, 1-7.

Vohr, B. R., Wright, L. L., Poole, W. K., & McDonald, S. A. (2005). Neurodevelopmental outcomes of extremely low birth weight infants <32 weeks' gestation between 1993 and 1998. *Pediatrics*, *116*(3), 635-643.

Wallin, L., & Eriksson, M. (2009). Newborn Individual Development Care and Assessment Program (NIDCAP): a systematic review of the literature. *Worldviews on Evidence-Based Nursing* *6*(2), 54-69.

Weber, P., Hetzel, P., & Lütschg, J. (2007). Auditory event-related potentials indexing central auditory discrimination and habituation by terms and preterms. *Clinical Neurophysiology*, *118*(2), e6-e7.

Westrup, B., Bohm, B., Lagercrantz, H., & Stjernqvist, K. (2004). Preschool outcome in children born very prematurely and cared for according to the Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program (NIDCAP). *Acta Paediatrica*, *93*(4), 498-507.

Westrup, B., Kleberg, A., & Stjernqvist, K. (2005). The newborn individualized developmental care and assessment program (NIDCAP). In J. Sizun & J. V. Browne (Eds.), *Research on early developmental care for preterm neonates* (pp. 75-83). Paris: John Libbey Eurotext.

White-Traut, R. C., Nelson, M. N., Silvestri, J. M., Patel, M., Lee, H., Cimo, S., et al. (2009). Maturation of the cardiac response to sound in high-risk preterm infants. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, *9*(4), 193-199.

Whitfield, M. F., Grunau, R. V., & Holsti, L. (1997). Extremely premature (< or = 800 g) schoolchildren: multiple areas of hidden disability. *Archives of Disease in Childhood*, *77*(2), F85-90.

Williams, A. L., van Drongelen, W., & Lasky, R. E. (2007). Noise in contemporary neonatal intensive care. *Journal of Acoustical Society of America*, *121*(5), 2681-2690.

Wisborg, K., Ingerlev, H. J., & Henriksen, T. B. (in press). In vitro fertilization and preterm delivery, low birth weight, and admission to the neonatal intensive care unit: a prospective follow-up study. *Fertility and Sterility*.

Wolke, D., & Meyer, R. (1999). Cognitive status, language attainment, and prereading skills of 6-year-old very preterm children and their peers: the Bavarian Longitudinal Study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *41*(2), 94-109.

Yamada, J., Stinson, J., Lamba, J., Dickson, A., McGrath, P. J., & Stevens, B. (2008). A review of systematic reviews on pain interventions in hospitalized infants. *Pain Research & Management*, *13*(5), 413-420.

Zangaladze, A., Epstein, C. M., Grafton, S. T., & Sathian, K. (1999). Involvement of visual cortex in tactile discrimination of orientation. *Nature*, *401*(6753), 587-590.

ANNEXES

ANNEXE 1

Activités scientifiques 2007-2010

ANNEXE 2

Lejeune, F., Audeoud, F., Marcus, L., Streri, A., Debillon, T., & 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. doi:10.1371/journal.pone.0009108.

ANNEXE 3

Berne-Audeoud F., Marcus L., Lejeune F., Gentaz E., & Debillon T. (2010). Communiquer par le toucher avec le nouveau-né prématuré. *Soins Pédiatrie-Puériculture*, 256, 21-23.

ANNEXE 4

Lejeune, F., Marcus, L., Audeoud, F., Streri, A., Debillon, T., & Gentaz, E. (en révision). Inter-manual transfer of shapes in preterm human infants from 33 to 34+6 post-conceptional age. *Child Development.*

Activités scientifiques 2007-2010

Publications et communications

Publications

Lejeune F., Marcus L., Berne-Audeoud F., Streri A., Debillon T., & Gentaz E. (en révision). Inter-manual transfer of shapes in preterm human infants from 33 to 34+6 post-conceptional age. *Child Development.*

Berne-Audeoud F., Marcus L., Lejeune F., Gentaz E., & Debillon T. (2010). Communiquer par le toucher avec le nouveau-né prématuré. *Soins Pédiatrie-Puériculture*, 256, 21-23.

Lejeune F., Audeoud F., Marcus L., Streri A., Debillon T., & 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. doi:10.1371/journal.pone.0009108.

Communications orales

Audeoud F., Lejeune F., Marcus L., Gentaz E., & Debillon T. (2009, 24-25 novembre). La sensorialité tactile de l'enfant prématuré: Exploration manuelle de la forme. 15ème Journées Francophones de Recherche en Néonatalogie, Paris, France.

Lejeune F., Audeoud F., Marcus L., Debillon T, & Gentaz E. (2009, 7 mai). Perception manuelle de la forme chez les bébés prématurés âgés de 33 à 34+6 semaines d'aménorrhée. Journée scientifique de l'EDISCE, Grenoble, France.

Marcus L., Lejeune F., Audeoud F., Gentaz E., & Debillon T. (2008, 11-12 décembre). Toucher pour connaître : quelles compétences tactiles chez le nouveau-né prématuré ? 14ème Journées Francophones de Recherche en Néonatalogie, Paris, France.

Audeoud F., Lejeune F., Marcus L., Gentaz E., & Debillon T. (2008, 15-17 septembre). Toucher pour connaître : quelles compétences tactiles chez le nouveau-né prématuré ? 38ème journées nationales de la Société Française de Médecine Périnatale, Strasbourg, France.

(Communication orale primée)

Communications affichées

Lejeune F., Berne-Audeoud F., Marcus L., Debillon T, & Gentaz E. (2010, 7-9 septembre). Les bébés prématurés sont-ils capables de transférer des informations sur la forme des objets d'une main à l'autre? 52ème congrès de la Société Française de Psychologie, Lille, France.

Lejeune F., Audeoud F., Marcus L., Debillon T, & Gentaz E. (2010, 11-14 mars). Inter-manual transfer of shapes in preterm human infants from 33 to 34+6 post-conceptional age. 17th biennal International Conference on Infant Studies, Baltimore, USA.

Diffusion des connaissances

Membre du Comité d'Organisation de la Journée Scientifique de l'EDISCE, Mai 2010

Membre du Comité d'Organisation du stand « Bouger, pas si simple » lors de la Fête de la Science, Novembre 2009

OPEN ACCESS Freely available online

PLoS one

The Manual Habituation and Discrimination of Shapes in Preterm Human Infants from 33 to 34+6 Post-Conceptional Age

Fleur Lejeune[1], Frédérique Audeoud[2], Leïla Marcus[2], Arlette Streri[3], Thierry Debillon[2], Edouard Gentaz[1]*

1 Laboratoire Psychologie et NeuroCognition (UMR CNRS), CNRS and Université Pierre Mendès France, Grenoble, France, 2 Service de Néonatologie, CHU Grenoble, Grenoble, France, 3 Laboratoire de Psychologie de la Perception (UMR CNRS), CNRS and Université Paris Descartes, Paris, France

Abstract

Background: Grasping at birth is well-known as a reflex in response to a stimulation of the palm of the hand. Recent studies revealed that this grasping was not only a pure reflex because human newborns are able to detect and to remember differences in shape features. The manual perception of shapes has not been investigated in preterm human infants. The aim of the present study was to investigate manual perception by preterm infants.

Methodology/Principal Findings: We used a habituation/reaction to novelty procedure in twenty-four human preterm infants from 33 to 34+6 post-conceptional age. After habituation to an object (prism or cylinder) in one hand (left or right) in a habituation phase, babies were given either the same object or the other (novel) object in the same hand in a test phase. We observed that after successive presentations of the same object, a decrease of the holding time is observed for each preterm infant. Moreover, a significant increase of the holding time is obtained with the presentation of the novel object. Finally, the comparison between the current performance of preterm infants and those of full-term newborns showed that preterm babies only had a faster tactile habituation to a shape.

Conclusion/Significance: For the first time, the results reveal that preterm infants from 33 to 34+6 GW can detect the specific features that differentiate prism and cylinder shapes by touch, and remember them. The results suggest that there is no qualitative, but only quantitative, difference between the perceptual abilities of preterm babies and those of full-term babies in perceiving shape manually.

Citation: Lejeune F, Audeoud F, Marcus L, Streri A, Debillon T, et al. (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. doi:10.1371/journal.pone.0009108

Editor: Martine Hausberger, University of Rennes 1, France

Received May 26, 2009; **Accepted** January 8, 2010; **Published** February 9, 2010

Copyright: © 2010 Lejeune et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Funding: Funds of Region Rhône-Alpes SRESR CIBLE 2007 (www.rhonealpes.fr) were obtained by E.G. (number: 07 016861 01 - TZ 016). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: Edouard.Gentaz@upmf-grenoble.fr

Introduction

This research addresses the question of the ability of preterm babies to perceive various shapes manually. It is well-known that human beings possess tactile sensitivity from the first weeks of fetal life. Using a fine-haired esthesiometer to stroke the skin, Hooker (1938) and Humphrey (1964, 1970) were able to trigger fetal reactions and describe precisely the tactile sensitivity of the fetus's body [1,2,3]. The parts of the body which react to tactile stimulation are the area around the mouth (8.5 weeks), a reaction corresponding to an opening of the mouth and swallowing, the genital area (10.5 weeks), the palms of the hands (between 10.5 and 11 weeks), and the soles of the feet (12 weeks). Regarding manual skills, the observation of babies' motor behavior has contributed considerably to fixing developmental stages [4,5]. These studies were not concerned with the fact that, contrary to those above, they disregard the newborn's potential, however weak, to gather information about objects and thus to perceive. Already present *in utero* [6], the grasping reflex in response to a stimulation of the palm of the hand was regarded as the newborn's and the infant's dominant behavior that favored a form of interaction with its environment. Pressure exerted on the palm of the hand by an object or even the observer's finger triggers the closing of the fingers around the stimulus. The avoiding reflex is added to the neonatal grasping reflex. This consists, on the contrary, in the opening wide of the fingers and the rejection of all stimulation [7,8]. But, the avoiding reflex becomes dominant at 5 months of age. The presence of both reflexes at birth is regarded as the prelude to more voluntary actions, such as taking and releasing objects.

However, for a long time researchers were unaware of a third action taking place between the other two, namely the holding of objects. During holding, manipulation of the objects would allow the baby to gather information about them. In a similar way to the grasping reflex of the palm, oral pressure exerted on a bottle teat or a nipple was rightly regarded as the outward sign of the sucking reflex, whose main function was to allow the baby to feed itself. Extended to non-nutritive sucking situations, the unique function of this reflex was to calm the baby down and stop it from crying. The study of the active touch via hand, considered in isolation,

allows us to answer questions about the development of manual shape perception by babies. Recent studies revealed that the grasping at birth is not only a pure reflex, because full-term newborns are able to discriminate different properties of objects with their hands, like weights [9], textures [10,11], and substances [12]. Using a classic habituation/reaction to novelty procedure (without visual control), Streri, Lhote and Dutilleul (2000) showed that newborns are able to memorise tactile information about specific shape features (prism or cylinder) and detect differences between these two shapes with either the right or left hand [13].

Essentially, studies about preterm babies and touch concern pain and developmental cares [14].They revealed that neonates' pain responses are influenced by the number of painful procedures previously experienced by the infant [15]. Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz and Anand (2006) showed that tactile and painful stimuli specifically activated somatosensory cortical areas [16]. This result indicates that there is a central integration of tactile information in preterm newborns at 28–36 weeks of gestation. The link between hand movements and somatosensory cortical activation has also been shown in preterm newborns at 29–31 weeks of gestation [17]. In addition, Kostovic and Jovanov-Milosevic (2006) showed that the organization of cerebral connections in the preterm infant is substantially different from that in newborns, giving evidence of the immaturity of the preterms' brain [18]. As a result, developmental cares have been elaborated. It is a method that provides a preventive and integrative approach for minimizing neonatal discomfort by promoting the infant's own regulatory capacities to cope with stress (for example the Newborn Individualized Developmental Care and Assessment program (NIDCAP) [19]). Early intervention could influence tactual abilities in preterm newborns. In fact, other studies examined passive touch or tactile sensitivity in preterm babies in comparison with full-term babies [20,21]. These studies showed that full-term and preterm babies differ in behavior and cardiac responses to tactile stimulation when tested at comparable post-conceptional age. Furthermore, intervention (multimodal stimulations) seemed to reduce this difference showing that sensory experiences benefits preterm babies' development.

Nonetheless, little is known about preterm neonates and their active touch. The role of active touch is crucial to gathering information about objects and obtaining a better perception of objects' properties like information about shape. Taken together, behavioral and neurological data suggest that all preterm babies could have a relatively mature sense of touch at birth and thus the ability to perceive various shapes with each hand.

The main purpose of this study was to investigate the ability of preterm babies to perceive with one hand the difference between two shapes. We performed a classic habituation/reaction to novelty procedure without visual control (see *Procedure*). If, after successive presentations of the same object, preterm babies take in information with their hands, a decrease of the holding time should be observed, indicating a habituation process. Moreover, if they are able to discriminate between various shapes (prism vs. cylinder), then we expect a significant increase of the holding time for the presentation of the novel object during the test phase. Finally, data from Streri *et al*'s study (2000) [13] were compared with the present data in order to investigate whether these perceptual manual abilities were qualitatively and/or quantitatively different between preterm and full-term newborns.

Methods

Participants

The participants were 24 preterm babies (14 girls and 10 boys). They were selected from intensive and regular neonatal care units in CHU of Grenoble. Parents gave written consent for their baby to participate in the experiment. The selection criteria were that they (i) had to show the grasp reflex, (ii) were not affected by a polymalformative syndrome, (iii) had to have a normal cranial ultrasonography, (iv) had to receive no sedative or anticonvulsive treatment during the experiment, and (v) had to be awake during tests. At birth, the mean gestational age was 30 weeks and 6 days (range from 26+3 to 34 weeks) and the mean weight was 1498 g. (range from 680 to 2723 g.). When the preterm babies were tested, the mean post-conceptional age ranged from 33 to 34+6 weeks, the mean post-natal age was 474 hours (range from 72 to 1200 hours), so about 20 days, and the mean weight was 1670 g. (range from 1000 to 2590 g.). It should be noted that the current World Health Organization definition of prematurity is a baby born before 37 weeks of gestation, counting from the first day of the last menstrual period, knowing that 40 weeks of gestation is the normal term. Moreover, viability of fetuses is between 22 and 24 weeks of gestation, depending on the country. The present study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the local ethic committee of the LPNC (CNRS and University of Grenoble 2). The experiment was classified as purely behavioral, and the testing involved no discomfort or distress to the infants.

Equal numbers of the 24 participants were randomly assigned to the main Experimental (different stimulus object in the test phase) versus Control (same object in test as in the prior habituation phase) factors. In to ascertain the effects of two subsidiary stimulus (prism versus cylinder) and holding hand (right versus left) factors, the 24 participants were also divided into the relevant 4 groups of 6.

Furthermore, eight features of the medical history were collected in order to verify whether they could affect babies' performance in the habituation and test phases: 1) mode of delivery (vaginal delivery/caesarean section), 2) twin (yes/no), 3) antenatal steroids (yes/no), 4) hypotrophy (yes/no), 5) intubation (yes/no), 6) Continuous Positive Airway Pressure (yes/no), 7) nasal cannula for oxygenotherapy (yes/no) and 8) intravenous catheter (yes/no).

Table 1 presents the main results of the parameters of performance during both phases according to the medical history. Student's t-tests were performed to compare premature babies' performance for each medical feature (8) and for each parameter measured during the experiment (4). Because of the important number of comparisons (N = 32), a Bonferroni alpha-level correction was adopted ($\alpha = 0.05/32 = 0.001$). Indeed, this correction avoids a lot of spurious positives with a decrease of the alpha value [22]. There was no significant difference between any of these values (all $p > 0.025$). Thereby, medical history of preterm babies did not influence the performance measured during habituation and test phases. These results allowed us to carry out the next statistical analysis.

Stimuli

The stimuli were a cylinder (a smoothly curved shape) and a prism (a sharply angled shape). These objects were chosen, because they elicit the grasp reflex, and are perfectly discriminated by full-term newborns' right and left hands [13]. The cylinder was 35 mm long and 6 mm in diameter and the prism was 35 mm long and 9x6x6 mm triangle base (see Figures 1 and 2). These objects were smaller than those used by Streri *et al*. (2000) [13], because preterms' hands were smaller than full-terms' hands. It is the surface ratio object/hand which is identical.

Procedure

The preterm baby was tested in his incubator just before or just after his care, in an arousal state 4 of the Brazelton scale [23] and

Table 1. Total holding times, holding times for the first two trials, mean number of trials of the habituation phase, and holding times for the two consecutive trials of the test phase (means (SD)) according to the eight features of the medical history.

				Habituation phase		Test phase
Category	**Subcategory**	**N**	**Total holding time (sec.)**	**First two trials (sec.)**	**Number of trials**	**Mean holding time (sec.)**
Mode of delivery	caesarean section	11	78.2 (34.8)	61.1 (35.8)	4.8 (1.1)	11.9 (10.3)
	vaginal delivery	13	81.3 (58.2)	53.4 (26.8)	4.3 (0.6)	17.6 (11.8)
Twin	yes	11	72.3 (43)	57.1 (34.3)	4.4 (0.7)	15.9 (9.6)
	no	13	86.3 (52.6)	58 (30.5)	4.7 (1)	14.2 (12.8)
Antenatal steroids	yes	21	84.6 (48.7)	60.1 (32)	4.6 (0.9)	15.2 (11.4)
	no	3	46.8 (27.9)	40.4 (26.5)	4 (0)	14 (12.6)
Hypotrophy	yes	4	71.3 (38.3)	48.1 (17.4)	4.5 (0.6)	8.4 (5.1)
	no	20	81.6 (50.3)	59.5 (33.7)	4.6 (0.9)	16.3 (11.8)
Intubation	yes	11	93.9 (60.1)	71.5 (38.6)	4.5 (0.8)	20.3 (12.6)
	no	13	68 (32.5)	45.9(18.4)	4.6 (1)	10.6 (8.1)
CPAP	yes	19	85.3 (50)	60.8 (33)	4.6 (1)	15.4 (12.1)
	no	5	59 (35.7)	45.5 (24.5)	4.2 (0.4)	13.7 (8.2)
Nasal cannula	yes	11	79.9 (43.6)	64.3 (36.3)	4.4 (0.7)	15.9 (11.3)
	no	13	79.8 (53)	51.9 (27.1)	4.7 (1)	14.2 (11.7)
Intravenous catheter	yes	16	86.3 (52.5)	60.6 (31.5)	4.6 (0.8)	17.3 (10.7)
	no	8	67.1 (37)	51.5 (32.9)	4.4 (1.1)	10.4 (11.2)

(CPAP: Continuous Positive Airway Pressure).
doi:10.1371/journal.pone.0009108.t001

more than one hour after his alimentation. The tested hand had to be free (no scope and no perfusion). The first experimenter, a neonatologist, installed the baby in a semi-upright position during the whole experiment and positioned his head in the opposite side of the tested hand, so that the baby could not see the test object.

Figure 1. Preterm baby holding a cylinder (the baby's apparent visual fixation of the test hand can be discounted because the experimenters monitored head and eye movements).
doi:10.1371/journal.pone.0009108.g001

The second experimenter, a psychologist, recorded holding times of objects with a hand-held computer which calculated a rate of habituation for each baby trial after trial. The whole experiment was videotaped to be analysed subsequently in order to verify and correct (when it was necessary) the holding times recorded by the hand-held computer.

Habituation phase. The first experimenter put an object in either the infant's right or left hand and the first trial started. The experimenter had to hold the preterm's forearm in order to cope with hypotonia (reduced muscular tonus). When the newborn grasped the object, the second experimenter began recording the holding time. When the premature babies released the object after

Figure 2. Preterm baby holding a prism.
doi:10.1371/journal.pone.0009108.g002

holding it for at least 1 sec., the experimenter stopped the recording to end the trial. If the premature babies held the object for 60 sec., the first experimenter gently opened the infant's hand and removed the object, thus ending the trial. After an inter-trial interval of about 10 sec., the experimenter presented the object again, beginning another set of habituation trials. Our criterion for habituation was based on the two consecutive trials that followed the third trial. It required that the total holding time for the two following consecutive trials should last for not more than a third (or less) of the holding time for the first two trials, as in the previous study of full-term infants [13]. If our criterion of habituation was not met by the 12th trial, the infant was excluded from the experiment. Two groups were made according to the hand in which the object was put during the habituation phase, and then two subgroups were made according to the object's shape used during the same phase. The babies were randomly assigned to these four groups. Each group included six premature babies.

We used 4 measures in the habituation phase: holding times for the first two trials, total holding time until the criterion was reached, holding times for the last two habituation trials, and number of trials conducted.

Test phase. Then, the test phase could begin. In the test phase, the 12 Experimental (new object in test) and the 12 Control (same object in test) group subjects received two trials. The experimenter placed the relevant (same or different) test object in the same hand of the baby as in the habituation phase.

An important measure in the test phase was the mean holding time for the two consecutive trials. We defined discrimination as having occurred when the mean holding time for the novel object was greater than the mean holding time displayed in the last two habituation trials. On the contrary, we expected that the mean holding time for the familiar object and the mean holding time displayed in the last two habituation trials not to differ significantly. The measure was used here to test whether preterm newborns do - or do not - discriminate sharp from smooth shape features by touch.

Design

For the habituation phase, statistical analyses were performed with two main factors: a between-subjects factor (Group: experimental vs. control) × a within-subjects factor (Trials: first two habituation trials vs. last two habituation trials). For the test phase, statistical analyses were performed with two main factors: a between-subjects factor (Group: experimental vs. control) × a within-subjects factor (Phase: last two habituation trials vs. two test trials). Moreover, to ascertain whether the main data were affected by laterality or type of shape features, subsidiary statistical analyses were performed with two between-subjects factors: Hand (Left vs. Right) and Shape (Cylinder vs. Prism). Finally, to compare performance between preterm and full-term newborns, an additional statistical analysis was performed with a between-subjects factor: Population Type (preterm vs. full-term).

Results

Results are reported in 2 subsections: (1) Findings for preterm newborns in (a) the habituation and (b) the test phase, and (2) results of comparing these findings with previous findings for full-term newborns in both phases.

1. Findings for Preterm Newborns

a. Habituation phase. A 2 (Group: experimental vs. control) ×2 (Trials: first two habituation trials vs. last two habituation trials) ANOVA was performed for the holding times. The results showed a significant effect of the Trials factor ($F(1, 22) = 66.523$; $p<0.001$): preterm babies held significantly longer the object during the first two habituation trials (Mean (M) = 57 s) than during the last two habituation trials (M = 8 s). There were no significant effect for the Group factor ($F(1, 22) = .544$; $p = .469$) and for the Trials × Group Interaction ($F(1, 22) = .075$; $p = .786$). It indicated that a successful and similar tactile habituation occurred for both experimental and control groups.

See Table 2 for total holding times, holding times for the first two trials, and number of trials of habituation for both objects and both hands. To ascertain whether the habituation measures were affected by laterality or type of shape features, a 2 (Hand: right vs. left) ×2 (Shape: prism vs. cylinder) ANOVA was performed. First, for the mean total holding times, there were no significant effect of the Hand factor ($F(1, 23) = .492$; $p = .491$), Shape factor ($F(1, 23) = .347$; $p = .563$) and Hand × Shape Interaction ($F(1, 23) = .008$; $p = .928$). Second, for the mean holding times of the first two trials, there were no significant effect of the Hand factor ($F(1, 23) = .003$; $p = .956$), Shape factor ($F(1, 23) = .290$; $p = .596$) and Hand × Shape Interaction ($F(1, 23) = 1.454$; $p = .242$). Finally, for the mean number of trials, there were no significant effect of the Hand factor ($F(1, 23) = 2.952$; $p = .101$), Shape factor ($F(1, 23) = .060$; $p = .809$) and Hand × Shape Interaction ($F(1, 23) = 2.952$; $p = .101$). In conclusion, the effects of these factors and interactions were not significant (*all* $p>0.10$), indicating in particular that both objects are equally graspable by preterm infants' right and left hands.

Finally, table 3 presents Bravais-Pearson correlations between 3 habituation measures (mean total holding times, mean holding times for the first two trials, and number of trials) and gestational age, post-natal age, post-conceptional age, birth weight and weight at test. There was no significant correlation between all these factors (*all* $p>0.10$).

b. Test phase. A 2 (Group: experimental vs. control) ×2 (Phase: last two habituation trials vs. two test trials) ANOVA was performed for the holding times. Results showed no significant

Table 2. Total holding times, holding times for the first two trials, and number of trials during habituation (means and (SD)) according to the hand (right or left) and to the object (prism or cylinder).

Hand	Object	Total holding time (sec.)	First two trials (sec.)	Number of trials
Right hand	Prism (N = 6)	65.7 (30.1)	45.7 (18.6)	4.5 (1.2)
	Cylinder (N = 6)	79.7 (45.3)	68.8 (39.2)	4 (0)
Left hand	Prism (N = 6)	82 (44.8)	62.4 (31.8)	4.5 (0.6)
	Cylinder (N = 6)	92.2 (71.9)	53.5 (36.2)	5.2 (1)

doi:10.1371/journal.pone.0009108.t002

Table 3. Bravais-Pearson correlations (Pearson's *r* and p value) between total holding times, holding times for the first two trials, mean number of trials of the habituation phase, holding times for the two consecutive trials of the test phase and gestational age, post-natal age, post-conceptional age, birth weight and weight at test.

Phase	Measures	Gestational age	Post-natal age	Post-conceptional age	Birth weight	Weight at test
Habituation	Total holding time	−.007	0	−.106	−.244	−.354
		p = .976	**p = 1**	**p = .621**	**p = .250**	**p = .101**
	First two trials	−.089	.099	−.083	−.219	−.220
		p = .678	**p = .646**	**p = .699**	**p = .303**	**p = .303**
	Number of trials	.076	−.091	−.041	−.163	−.327
		p = .725	**p = .671**	**p = .849**	**p = .447**	**p = .119**
Test	Mean holding time of	−.078	.094	.084	.010	.037
	the two test trials	**p = .715**	**p = .661**	**p = .698**	**p = .962**	**p = .863**

doi:10.1371/journal.pone.0009108.t003

effect of the Group factor ($F(1, 22) = 1.410$; $p = .248$), and a significant effect of the Phase factor ($F(1, 22) = 27.044$; $p < 0.001$) explained by a significant Phase × Group Interaction ($F(1, 22) = 5.458$; $p = 0.029$).

To investigate this Phase × Group interaction further, planned comparisons were performed: the experimental group held significantly longer the novel object ($M = 18.9$ s) compared to the last two habituation trials ($M = 3.4$ s) ($F(1, 22) = 28.4$; $p < 0.001$). This suggests that a reaction to a novel shape is obtained in preterm babies. For the control group, babies held the familiar object during the test phase ($M = 11.1$ s) as much as during the last two habituation trials ($M = 5.3$ s) ($F(1, 22) = 4.10$; $p = 0.055$).

The above difference in holding time for the control group approached significance although it was the same object in the two phases. The analysis of individual data allows us to understand this surprising result. Table 4 presents individual data for each preterm baby and shows a baby (S24) "blocking" on the familiar object in the test phase (holding time = 60 s). We had to remove it although he was considered as habituated to this object. We supposed that this behavior could be responsible for this unexpected difference. In order to test this assumption and to homogenize our approach across groups, we substituted three data equal to 60 seconds (one in control group -S24- and two in experimental group -S1 and S11-) by the mean of holding times of subjects who were in the same experimental conditions. Table 4 presents the modified data in brackets. Then, a similar 2 (Group: experimental vs. control) ×2 (Phase: last two habituation trials vs. two test trials) ANOVA was performed for these modified data. The analyses confirmed a significant Phase × Group Interaction ($F(1, 22) = 4.242$; $p = 0.05$) and planned comparisons now showed that the experimental group held the novel object longer ($M = 15.11$ s) compared to the last two habituation trials ($M = 3.4$ s) ($F(1, 22) = 18.55$; $p < 0.001$), whereas the difference of mean holding times was not significant for the control group anymore ($F(1, 22) = 1.94$; $p > 0.15$). These results are consistent with the explanation that the unexpected difference was due to the blocking behavior of one baby.

To ascertain whether the holding times during test phase were affected by laterality or type of shape features, a 2 (Hand: right vs. left) × 2 (Shape: prism vs. cylinder) ANOVA was performed. Results showed that Hand factor ($F(1, 23) = .108$; $p = .747$), Shape factor ($F(1, 23) = .600$; $p = .450$) and Hand × Shape Interaction ($F(1, 23) = .607$; $p = .447$) did not influence the holding times during test phase.

Finally, table 3 presents Bravais-Pearson correlations between holding times for the two consecutive trials of the test phase and gestational age, post-natal age, post-conceptional age, birth weight and weight at test. There was no significant correlation between all these factors (*all* $p > 0.25$), suggesting that gestational age, post-natal age, post-conceptional age, birth weight and weight at test did not influence holding times during test phase.

2. Results of Comparing These Findings with Previous Findings for Full-Term Newborns in Both Phases

Data from Streri *et al.*'s study (2000) were compared with our data in order to investigate if performance were different between preterm and full-term newborns.

Habituation phase. See Table 5 for mean total holding times, mean holding times for the first two trials, and number of trials, respectively, for preterm and full-term newborns. We used Student's t-tests to compare the respective means of all three measures for the two populations. The total holding time for preterm babies was significantly shorter than for full-term babies ($t(46) = -2.256$; $p = 0.029$). The mean holding time for the first 2 trials was longer for preterms than for full-terms, but not significantly so ($t(46) = 1.609$, $p = .173$). Preterms took significantly fewer trials to reach the habituation criterion than full-term babies ($t(46) = -4.932$; $p < 0.001$).

Test phase. Table 6 shows the mean holding times during test phase between preterm and full-term newborns. Regarding the full-term newborns' data in the test phase, we used holding times of the two test trials of the novel object for the "non-lag group" (label from Streri et al.'s study (2000)), because this "non-lag group" was exactly in the same conditions as our experimental group. Otherwise, the "lag group" received, after habituation, two test trials with the familiar object following by two additional test trials with the novel object, but we used only mean holding times of the two test trials of the familiar object for the current comparison, in order to be in the same conditions as our control group. A 2 (Population Type: preterm vs. full-term) ×2 (Group: experimental vs. control) ANOVA was performed for holding times for the two consecutive trials of the test phase. The analyses revealed a main effect of Group ($F(1, 47) = 9.806$; $p = 0.003$), confirming a novelty reaction for the new shape for both full-term and preterm babies. Indeed, the experimental group held the novel object ($M = 19$ s) longer than the control group with the familiar object ($M = 9$ s). However, neither main effect of Population Type ($F(1, 47) = 0.384$; $p > 0.25$) nor interaction

Table 4. Holding times displayed in the last two habituation trials and their mean holding time, and holding times of test trials 1 and 2 and means of the two test trials for each participant (S) and each group (experimental vs. control).

		Habituation Phase			Test Phase		
Group	S	Holding Time (sec.) Last habituation trial 1	Holding Time (sec.) Last habituation trial 2	Mean holding time (sec.)	Holding Time (sec.) Test trial 1	Holding Time (sec.) Test trial 2	Mean holding time (sec.)
Experimental	1	1.262	1.199	1.23	1.257	*60 (27.3675)*	*30.63 (14.31)*
(N = 12)	2	3.192	1.787	2.49	8.164	20.783	14.47
	3	1.559	4.019	2.79	14.81	33.952	24.38
	4	5.94	2.402	4.17	50.557	1.082	25.82
	5	2.234	11.307	6.77	3.807	2.534	3.17
	6	1.755	9.612	5.68	34.75	18.792	26.77
	7	1.208	1.22	1.21	11.093	18.024	14.56
	8	8.248	1.652	4.95	19.445	6.632	13.04
	9	2.98	1.05	2.02	21.756	1.708	11.73
	10	1.293	2.428	1.86	53.655	2.404	28.03
	11	2.851	4.442	3.65	2.321	*60 (2.1685)*	*31.16 (2.24)*
	12	6.793	1.681	4.24	3.652	1.933	2.79
M (modified M)		**3.28**	**3.57**	**3.42**	**18.77**	**18.99 (11.44)**	**18.88 (15.11)**
Control	13	2.75	4.783	3.77	1.148	1.144	1.15
(N = 12)	14	4.414	3.215	3.81	2.496	17.796	10.15
	15	9.264	3.116	6.19	18.117	1.981	10.05
	16	2.037	6.021	4.03	5.155	2.276	3.72
	17	1.95	9.633	5.79	2.801	1.465	2.13
	18	3.303	3.09	3.2	1.819	9.964	5.89
	19	4.017	1.878	2.95	3.475	17.334	10.4
	20	1.684	7.06	4.37	9.399	1.754	5.58
	21	7.157	5.24	6.2	8.925	58.998	33.96
	22	2.193	1.686	1.94	1.388	4.773	3.08
	23	3.993	6.397	5.2	18.282	8.35	13.32
	24	2.088	29.37	15.73	*60 (9.835)*	8.473	*34.24 (9.15)*
M (modified M)		**3.74**	**6.79**	**5.27**	**11.08 (6.9)**	**11.19**	**11.14 (9.05)**

In italics: data to substitute; in italics and brackets: modified data; in bold: mean holding times for each group.

doi:10.1371/journal.pone.0009108.t004

Population Type × Group ($F(1, 47) = 0.496$; $p > 0.25$) were observed.

Discussion

This study investigated the ability of preterm babies' hands to perceive the difference between two shapes and revealed three main results. Firstly, when an object was put in the preterm newborns' hand, the holding time decreased trial after trial until the habituation criterion was reached. For the first time, the results reveal that a haptic manual habituation is present for each preterm newborn between 33 and 34+6 GW. This result is consistent with Fearon, Hains, Muir and Kisilevsky's study (2002) about passive touch [24]. The authors showed that the majority of preterm infants between 30 and 36 GW displayed tactile habituation: in active sleep

Table 5. Comparison of total holding times, holding times for the first two trials, and number of trials of habituation (means and (SD)) between preterm and full-term newborns.

Population Type	Total holding time (sec.)	First two trials (sec.)	Number of trials
Preterm (N = 24)	79.9 (47.9)	57.6 (31.5)	4.5 (0.9)
Full-term (N = 24)	123.1 (63.7)	45.9 (27)	6.4 (1.6)
t	−2.256 *	1.609	−4.932 ***

*t indicates the result of t-tests (*p<.05 and ***p<.001).*

doi:10.1371/journal.pone.0009108.t005

Table 6. Mean holding times during test phase (means and (SD)) in preterm and full-term newborns.

Population Type	Group	Holding time (sec.)
Preterm (N = 24)	Control	11.14 (11.3)
	Experimental	18.88 (10.2)
Full-term (N = 24)	Control	6.9 (5.4)
	Experimental	19.1 (15)

doi:10.1371/journal.pone.0009108.t006

and the stimulus was a gentle stroke on the infant's forearm twice from wrist to elbow done by the experimenter. In fact, successful habituation can be considered as an elementary kind of learning. Because habituation shares some links with memory and is thought to involve processes that reflect the development of some internal representation of a stimulus [25], it means that preterm babies are able to memorize the shape of an object with each hand.

Secondly, after habituation, when an object with a novel shape was put in the preterm newborns' hand, the holding time increased. This is the first evidence that preterm infants between 33 and 34+6 GW are capable of manual discrimination (active touch) between a prism and a cylinder, whichever hand tested. Consequently, the grasping at 33 GW would be not only a reflex because preterm babies could retain tactile information about specific shape features and detect the differences of shape when a novel stimulus is presented in the manual mode.

Finally, data from Streri *et al*'s study (2000) [13] were compared with the present data in order to investigate whether these perceptual manual abilities were qualitatively and/or quantitatively different between preterm and full-term newborns. They provided evidence for manual haptic habituation and discrimination with either right or left hands in full-term newborns and we observed similar results in preterm babies. This suggests that these perceptual manual abilities were qualitatively similar but are they quantitatively similar too? The comparison revealed that preterm babies habituated more quickly whereas the performance during the test phase did not differ significantly. The length of the habituation time observed in this study could be affected by motor fatigue that is a well known phenomenon in preterm babies [26]. But, this result can suggest that the observed habituation reveals a mere motor fatigue. If this was the case then discrimination between shapes had not to be observed. This faster habituation in preterm babies seems to be sufficient and efficient to lead to a reaction to the novel object. So, this motor fatigability would not disturb the habituation ability in preterm babies. Taken together, these results suggest that the processes involved in the manual habituation and discrimination of shapes are only qualitatively similar between preterm and full-term newborns.

In short, a manual habituation occurs in preterm babies between 33 and 34+6 GW. Then, in this case, a manual discrimination of shapes is found in preterm babies, whatever the hand. These results are consistent with those observed in full-term newborns. However, a difference in the speed habituation process exists between preterm and full-term babies. It probably indicates mainly a difference of motor maturation: preterm infants tire more quickly when holding an object. The results suggest that there is no qualitative–but only a quantitative- difference between the perceptual abilities of preterm babies' hand and those of full-term babies. Further studies are needed to address the question of higher cognitive functions like intermanual transfer [27] and intermodal transfer between touch and vision in preterm newborns [28,29,30,31].

Acknowledgments

We thank the babies and the parents who participated in the experiment, the staff members working in the CHU of Grenoble and Florence Berger, Sylvette Maniguet, Coralie Sann and an anonymous reviewer for their help.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: FL FA LM AS TD EG. Performed the experiments: FL FA LM AS TD EG. Analyzed the data: FL FA LM AS TD EG. Contributed reagents/materials/analysis tools: FL FA LM AS TD EG. Wrote the paper: FL FA LM AS TD EG.

References

1. Hooker D (1938) The origin of the grasping movement in man. Proc Am Phil Soc 79: 597–606.
2. Humphrey T (1964) Some correlations between the appearance of human fetal reflexes and the development of the nervous system. Prog Brain Res 4: 93–135.
3. Humphrey T (1970) The development of human fetal activity and its relation to postnatal behaviour. Adv Child Dev Behav 5: 1–57.
4. Gesell A (1933) Maturation and the patterning of behavior. In: Murchison C, ed. A handbook of child psychology. Worcester, MA: University Press. pp 209–235.
5. McGraw MB (1935) The neuromuscular maturation of the human infant. New-York: Columbia University Press.
6. Erhardt RP (1973) Sequential levels in development of prehension. Am J Occup Ther 28: 592–596.
7. Twitchell TE (1965) The automatic grasping response of infants. Neuropsychologia 3(3): 247–259.
8. Twitchell TE (1970) Reflex mechanisms and the development of prehension. Mechanisms of motor skill development. In Connolly K, ed. New-York: Academic Press. pp 25–60.
9. Hernandez-Reif M, Field T, Diego M, Largie S (2001) Weight perception by newborns of depressed versus non-depressed mothers. Inf Behav Dev 24(3): 305–316.
10. Molina M, Jouen F (1998) Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. Inf Behav Dev 21(4): 659–667.
11. Molina M, Jouen F (2003) Haptic intramodal comparison of texture in human neonates. Dev Psychobiol 42(4): 378–385.
12. Rochat P (1987) Mouthing and grasping in neonates: evidence for the early detection of what hard or soft substances afford for action. Inf Behav Dev 10(4): 435–449.
13. Streri A, Lhote M, Dutilleul S (2000) Haptic perception in newborns. Dev Sci 3(3): 319–327.
14. Sizun J, Browne JV (2005) Research on early developmental care for preterm neonates. Paris: John Libbey Eurotext.
15. Johnston CC, Stevens BJ (1996) Experience in a neonatal intensive care unit affects pain response. Pediatrics 98(5): 925–930.
16. Bartocci M, Bergqvist LL, Lagercrantz H, Anand KJS (2006) Pain activates cortical areas in the preterm newborn brain. Pain 122(1): 109–117.
17. Milh M, Kaminska A, Huon C, Lapillonne A, Ben-Ari Y, et al. (2007) Rapid oscillations and early motor activity in premature human neonate. Cerebral Cortex 17(7): 1582–1594.
18. Kostovic I, Jovanov-Milosevic N (2006) The development of cerebral connections during the first 20–45 weeks' gestation. Sem Fet Neonat Med 11(6): 415–422.
19. Als H, Lawhon G, Duffy FH, McAnulty GB, Gibes-Grossman R, et al. (1994) Individualized developmental care for the very low-birth-weight preterm infant: medical and neurofunctional effects. J Am Med Assoc 272(11): 853–858.
20. Rose SA, Schmidt K, Bridger WH (1976) Cardiac and behavioural responsivity to tactile stimulation in premature and full-terms infants. Dev Psychol 12(4): 311–320.
21. Rose SA, Schmidt K, Riese ML, Bridger WH (1980) Effects of prematurity and early intervention on responsivity to tactual stimuli: a comparison of preterm and full-term infants. Child Dev 51(2): 416–425.
22. Howell DC (1998) Méthodes statistiques en Sciences Humaines. Paris: De Boeck.
23. Brazelton TB, Nugent JK (1995) Neonatal Behavioral Assessment Scale (3rd ed.) London: Mac Keith Press.
24. Fearon I, Hains SMJ, Muir DW, Kisilevsky BS (2002) Development of tactile responses in human preterm and full-term from 30 to 40 postconceptional age. Infancy 3(1): 31–51.
25. Bornstein MH (1998) Stability in mental development from early life: methods, measures, models, meanings and myths. In: Simion F, Butterworth G, eds. The development of sensory, motor, and cognitive capacities in early infancy. From perception to cognition. Hove, UK: Psychology Press. pp 301–332.
26. Dalla Piazza S (1997) L'enfant prématuré: Le point sur la question. Bruxelles: De Boeck Université.
27. Sann C, Streri A (2008) Inter-manual transfer of object texture and shape in human neonates. Neuropsychologia 46(2): 698–703.
28. Streri A, Gentaz E (2003) Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. Somat Mot Res 20(1): 11–16.
29. Streri A, Gentaz E (2004) Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handedness in human newborns. Neuropsychologia 42(10): 1365–1369.
30. Sann C, Streri A (2007) Perception of object shape and texture in human newborns: evidence from cross-modal transfer tasks. Dev Sci 10(3): 399–410.
31. Gentaz E (2009) La main, le toucher et le cerveau [Hand, touch and brain]. Paris: Dunod.

dossier SOINS Pédiatrie/Puériculture

Les soins individualisés
à l'enfant né prématurément

pratique soignante

Communiquer par le toucher avec le nouveau-né prématuré

Comment le bébé né prématurément appréhende-t-il le monde extérieur ? Le premier sens développé par le fœtus est le toucher Au travers de la physiologie de la sensorialité et de la maturation cérébrale, le toucher peut constituer un vecteur essentiel dans la communication et le soin à l'enfant né prématurément.

Communicating with newborns through touch. How does the premature baby born perceive the outside world? The first sense developed by the fœtus is touch. Through the physiology of sensoriality and brain maturation, touch can constitute an essential vector in communicating with and caring for the premature child.

Frédérique Berne-Audéoud
Leila Marcus
Fleur Lejeune
Édouard Gentaz
Thierry Debillon

Pour un bébé, naître prématurément signifie changer d'environnement brutalement et de manière anticipée. L'enfant est alors confronté au monde extérieur alors que ses sens (toucher, vision, odorat, ouïe) ne sont pas encore complètement matures. Que perçoit-il des différents *stimuli* qui l'environnent ? Comment entrer en contact avec lui par des stimulations qui lui correspondent ? Autant de questions pour les parents comme pour les professionnels de santé. La sensorialité tactile (le tact ou le toucher) est le premier sens à se former au cours de la vie fœtale. Au regard des résultats de la recherche récente, quelles sont les compétences tactiles d'un nouveau-né prématuré ? Comment utiliser ces compétences pour adapter les soins ?

Physiologie de la sensorialité tactile chez le fœtus, le bébé prématuré et le nouveau-né à terme

L'émergence des différents sens suit un ordre chronologique invariant chez de nombreux mammifères et oiseaux comme chez l'être humain : d'abord le toucher, puis l'olfaction, le goût, la proprioception (capacité à repérer son corps dans l'espace), l'audition et enfin la vision. Cette mise en place séquentielle des différents sens permettrait une intégration progressive des stimulations les plus simples vers les plus complexes, par exemple, de l'exploration tactile simple du cordon ombilical par le fœtus (stimulation unimodale sans *stimulus* visuel ou auditif associé) vers une interaction avec la mère à la naissance (stimulation multimodale comprenant le toucher, l'olfaction, l'audition et la vision). Des recherches récentes chez les oiseaux montrent que la stimulation précoce de la vision (dernier sens à être mature) aboutit à de meilleures compétences visuelles, mais au détriment des compétences auditives[1]. Il semble donc important de respecter au maximum cette chronologie afin de ne pas perturber un développement sensoriel harmonieux et équilibré.

Chez le fœtus, les récepteurs cutanés sont présents de manière très précoce. Ils apparaissent dès 7 semaines d'aménorrhée (SA) autour de la bouche pour s'étendre dès 20 SA au corps entier selon une maturation céphalocaudale[2-4]. Dès 13 SA, les fœtus présentent des réactions motrices au toucher sur toute la surface de leur corps. En ce qui concerne la transmission de ces informations au niveau cérébral, le sens du toucher est représenté par deux voies somesthésiques différentes : la voie thermo-algique ou spinothalamique, qui véhicule les informations thermiques et douloureuses, et la voie lemniscale qui transmet les informations tactiles et propioceptives. La mise en place et la maturation de ces voies de transmission s'établissent progressivement et, dès 28 SA peut être enregistrée, grâce aux potentiels évoqués somesthésiques, la réponse corticale à une stimulation tactile[5]. Se produit, par la suite, une maturation de cette réponse, par accélération de la vitesse de conduction lors de la myélinisation des fibres nerveuses, et par organisation progressive de l'intégration de l'information au niveau central[6]. Cela suggère que l'enfant prématuré, même de très faible âge gestationnel de naissance, pourrait avoir des capacités tactiles relativement fonctionnelles. ▶

Mots clés
• Communication
• Enfant
• Parent
• Prématurité
• Sens
• Soignant
• Soin
• Toucher

Key words
• Communication
• Healthcare
• Healthcare worker
• Infant
• Parent
• Prematurity
• Sense
• Touch

SOINS Pédiatrie/Puériculture dossier

Les soins individualisés à l'enfant né prématurément

Chez le nouveau-né à terme, des études récentes ont démontré que le *grasping* n'est pas seulement un réflexe mais une véritable exploration tactile du monde qui l'entoure. En effet, les bébés, dès quelques heures de vie, sont capables d'explorer et de reconnaître certaines caractéristiques de petits objets placés dans leurs mains, telles que la texture ou la forme[7,8]. Pour démontrer cela, les chercheurs utilisent une procédure d'habituation et de réaction à la nouveauté. Quand on place un objet dans la main du bébé, il agrippe l'objet *(grasping)* et il l'explore par de petits mouvements de la main, puis enfin il le lâche. Quand on lui présente de manière successive le même objet, le temps d'exploration est de plus en plus court: le bébé s'habitue à l'objet, c'est-à-dire qu'il s'en désintéresse car il le reconnaît. Quand on lui donne alors un objet nouveau, la phase d'exploration est à nouveau plus longue, montrant que le bébé réagit à un objet différent.

Chez le bébé né prématurément, nous venons de mettre en évidence très récemment, en utilisant un protocole similaire, une habituation tactile à une forme et une discrimination à une forme d'un petit objet (prisme *vs* cylindre) chez les bébés prématurés dès 33 SA, quand ceux-ci sont en phase d'éveil calme. Il est à noter que ces capacités tactiles sont présentes aussi bien avec la main droite que la gauche[9]. Une étude est en cours actuellement pour rechercher si ces capacités sont présentes de manière plus précoce, dès 28 SA.

Il s'agit de proposer des stimulations tactiles harmonieuses, équilibrées et non douloureuses

Applications pour les soins de développement

Permettre l'exploration tactile en luttant contre l'hypotonie et en respectant la liberté de mouvement du bébé. Une des difficultés qu'éprouve le bébé prématuré pour explorer son environnement est sa grande hypotonie. Il existe donc des stratégies de positionnement pour que l'enfant puisse s'en affranchir. Les cocons de positionnement permettent d'installer l'enfant en flexion. D'une part, cela permet d'éviter les positions vicieuses de type "ciseaux" (membres inférieurs en flexion et rotation interne, "grenouille écrasée" en décubitus ventral) ou "chandelier" (membres supérieurs en rotation externe des épaules et extension du rachis, en décubitus dorsal) et de préserver le capital moteur ultérieur[10], et d'autre part, cela favorise le regroupement de l'enfant et sa motricité globale harmonieuse[11]. Par exemple, lors d'un positionnement sur le côté, les mains et les pieds de l'enfant seront tout naturellement alignés sur la ligne médiane, avec une facilitation de l'exploration du visage par les mains avec des gestes d'auto-assurance.

Afin de pouvoir explorer, le bébé prématuré doit avoir ses mains libres de toute contention (moufles, gants, "menottes", etc…). La fixation des prothèses (type cathéter, sonde d'intubation ou d'alimentation) doit donc être vérifiée fréquemment. Une attention toute particulière doit être portée au confort de l'enfant. En effet, un bébé mal installé ou douloureux est susceptible de s'agiter et d'arracher sondes et tuyaux plus facilement.

Préserver le sommeil et investir tactilement les moments de communication. Un pré-requis pour toute stimulation tactile est de savoir observer l'enfant afin de repérer les différents états de veille ou de sommeil dans lesquel il se trouve. Il s'agit en effet de préserver les états de sommeil (calme ou agité) et de ne pas proposer de stimulations tactiles intempestives dans ces moments-là. D'une part, le bébé ne réagira pas de manière adaptée aux stimulations (réactions de rejet ou de retrait) et d'autre part, plusieurs études[12-14] ont montré le rôle crucial du sommeil dans le bon développement cérébral de l'enfant; il importe donc de le respecter.

De la même manière, il est important de savoir repérer les phases d'éveil calme, où l'enfant recherche la communication, afin d'apporter les *stimuli* adaptés. La personne qui entre en communication tactile avec le bébé doit être vigilante aux modifications comportementales pouvant survenir chez celui-ci, d'autant plus que l'enfant est immature. Il faudra donc savoir reconnaître les signes de fatigue ou de stress, tels que agitation, bâillement, réaction de retrait ou de repli, afin d'adapter la durée et l'intensité du *stimulus*. Il s'agit de proposer des stimulations tactiles harmonieuses, équilibrées et non douloureuses De nombreux exemples de ce type de stimulations, comme l'agrippement d'un doudou ou du doigt de la maman, le toucher global, l'emmaillotement, sont décrits dans les manuels concernant les soins du développement[15].

Déséquilibre douleur/stimulation tactile non douloureuse. Dans les services de néonatologie, le bébé prématuré est soumis à de nombreux soins qui peuvent être à l'origine de sur-stimulation tactile, voire, pour les bébés les plus fragiles, d'allodynie (une stimulation tactile habituellement indolore se révèle douloureuse). Il est aussi confronté à

Notes

1. **Lickliter R.** Atypical Perinatal Sensory Stimulation and Early Perceptual Development: Insights From Developmental Psychobiology. *Journal of Perinatology* 2000; 20, S45-S51.

2. **Hooker D.** The origin of the grasping movement in man. *Proc Am Phil Soc* 1938; 79: 597-606.

3. **Humphrey T.** Some correlations between the appearance of human fetal reflexes and the development of the nervous system. *Prog Brain Res* 1964; 4: 93-135.

4. **Humphrey T.** The development of human fetal activity and its relation to postnatal behaviour. *Adv Child Dev Behav* 1970; 5: 1-57.

5. **White CP.** Maturation of the cortical evoked response to posterior tibial nerve stimulation in the preterm neonate. *Dev Med Child Neurol* 1989; 31: 657-64.

6. **Curtis L.** Neurodevelopmental Changes of Fetal Pain. *Semin Perinatol* 2007; 31: 275-82.

7. **Streri A.** Haptic perception in newborns. *Dev Sci* 2000; 3(3): 319-27.

8. **Molina M.** Haptic intramodal comparison of texture in human neonates. *Dev Psychobiol* 2003; 42(4): 378-85.

9. **Lejeune F.** The Manual Habituation and Discrimination of Shapes in Preterm Human Infants from 33 to 34+6 Post-Conceptional Age. *PlosOne* 2010; 5(2).

10. **Grenier A.** Prévention des déformations précoces de hanche chez les nouveau-nés à cerveau lésé. Maladie de Little sans ciseaux ? *Ann Pediatr* 1988; 35 (6): 423-7.

11. **Ferrari F.** Posture and movement in healthy preterm infants in supine position in and outside the nest". *Arch Dis Child Fetal Neonatal* Ed 2007; 92: 386-90.

12. **Gertner S, Greenbaum CW, Sadeh A, Dolfin Z, Sirota L, Ben-Nun Y.** Sleep-wake patterns in preterm infants and 6 month's home environment: implications for early cognitive development. *Early Hum Dev* 2002; 68(2): 93-102.

.../...

dossier
SOINS Pédiatrie/Puériculture

Communiquer par le toucher
avec le nouveau-né prématuré

Histoires d'avant, l'apprivoisement du monde de la prématurité

Le quotidien des enfants nés prématurément, avant 37 semaines d'aménorrhée, est un univers particulier, unique et spécifique. Il n'est donc pas aisé de le décrire tel qu'il apparaît aux yeux des enfants, de leurs parents et des professionnels qui travaillent dans les services de réanimation néonatale et de néonatologie.
Frédérique Berne-Audéoud, néonatologue exerçant au CHU de Grenoble, a eu l'idée de nous faire découvrir cet univers qui entoure et révèle l'enfant prématuré, par l'intermédiaire d'un livre de photographies en noir et blanc. Après 3 ans de prises de vue pour saisir les impressions et le sentiment global qui anime de tels services, une exposition a été ouverte au public et l'ouvrage "Histoires d'avant, l'apprivoisement du monde de la prématurité" a vu le jour en 2009.

Son principal atout est de communiquer par l'observation des manifestations du bébé au toucher et au contact. En effet, dès la naissance, tous les sens du bébé prématuré sont fonctionnels et en alerte. La communication, l'empreinte que laisse sur lui l'environnement qu'on lui propose et ses réactions à la présence parentale qui le sécurise se traduisent par son comportement. Son visage et sa position détendus ainsi que ses mouvements doux et amples témoignent de la douceur, de l'attention et de la volonté de prendre du temps pour lui et de favoriser l'échange.
La communication verbale n'a pas la primeur dans cette relation à l'enfant : c'est le toucher qui excelle.

© DR

Rien de tel que l'image pour apprécier le comportement du tout petit, son éveil et sa communication avec les professionnels attentifs. Les termes du monde de la photographie sont parfaitement adaptés à cette situation. L'image en noir et blanc permet de "flouter" encore plus l'univers de technicité et de surveillance pour se focaliser sur l'expression de l'enfant et de ses parents. On entre-aperçoit sans voyeurisme l'apprivoisement des professionnels qui souhaitent saisir le besoin de l'enfant, le nouveau parent accompagnant son bébé dès le début de sa vie et ce dernier qui se construit en développant ses compétences.

Ce livre est un réel hommage à l'enfant prématuré qui s'adapte brusquement au nouvel environnement qu'on lui propose, à ses parents qui l'entourent et aux professionnels qui portent leur attention à l'apprivoisement de la vie. Gageons que ces illustrations permettront aux professionnels des services de néonatologie et de réanimation néonatale de réaliser les effets bienfaisants de leur attention à l'enfant et à sa famille, et d'optimiser avec engouement les soins prodigués qu'ils proposent déjà.

Fabienne Pillet

Berne-Audéoud F. et al. Histoires d'avant, l'apprivoisement du monde de la prématurité, Éditions Lieux dits, 2009.

de nombreuses stimulations douloureuses qui modifient ses réponses comportementales tactiles ultérieures. En effet, le déséquilibre stimulations tactiles non douloureuses/stimulations tactiles douloureuses peut entraîner, à long terme, des modifications neuro-développementales persistantes[15]. Avant de songer à savoir comment bien stimuler tactilement l'enfant prématuré, il faudra surtout veiller à ne pas le sur-stimuler, ni le dys-stimuler.
Enfin, il ne faut pas oublier que l'enfant perçoit les *stimuli* auxquels il est confronté dans leur globalité. Il est donc important de préserver la cohérence de ces stimulations multimodales. Le bébé pourra ainsi associer les différentes composantes (tactiles, olfactives, proprioceptives, auditives et visuelles) de chaque *stimulus*. Le peau à peau est un exemple concret de stimulation multimodale équilibrée, harmonieuse et adaptée. Les bienfaits de cette technique toute simple ne sont plus à démontrer[17].

Conclusion

Les bébés, même prématurés, présentent des capacités sensorielles tactiles très précoces. Il convient donc d'adapter au mieux les soins afin d'éviter toute stimulation douloureuse ou inadéquate et de préserver le sens du toucher en l'intégrant dans un environnement compréhensible et adapté à l'enfant. ■

Notes

.../...

13. DiPietro JA, Costigan KA, Pressman EK. Fetal state concordance predicts infant state regulation. *Early Hum Dev* 2002 ; 68 : 1-13.

14. Spruyt K, Aitken RJ, So K, Charlton M, Adamson TM, Horne RSC. Relationship between sleep/wake patterns, temperment and overal development in term infants over the first year of life. *Early Hum Dev* 2008 ; 84 : 289-96.

15. Martel MJ, Milette I. Les soins du développement : Des soins sur mesure pour le nouveau-né malade ou prématuré. Éditions du CHU de Sainte Justine, Collection Intervenir, 2006.

16. Anand KJS. Can Adverse Neonatal Experiences Alter Brain Development and Subsequent Behavior? *Biol Neonate* 2000 ; 77 : 69-82.

17. Pierrat V. Le peau à peau dans la prise en charge des nouveau-nés de faible poids de naissance. *Journal de pédiatrie et de puériculture* 2004 ; 17 : 351-7.

Les auteurs n'ont pas déclaré de conflit d'intérêts.

Les auteurs

Frédérique Berne-Audéoud, Leila Marcus,
pédiatres,
service de néonatologie,
CHU Grenoble (38),
Fleur Lejeune, Édouard Gentaz,
chercheurs en psychologie du développement, CNRS, Grenoble,
Thierry Debillon,
pédiatre, service de néonatologie, CHU Grenoble,
faudeoud@chu-grenoble.fr

[Manuscrit en révision dans *Child Development*]

Inter-Manual Transfer of Shapes in Preterm Human Infants from 33 to 34+6 post-Conceptional Age

Fleur Lejeune[1], Leïla Marcus[2], Frédérique Berne-Audeoud[2], Arlette Streri[3], Thierry Debillon[2] and Edouard Gentaz[1]

1. Laboratoire Psychologie et NeuroCognition (CNRS, UMR 5105), Université Pierre Mendès-France, Bâtiment des Sciences de L'homme et des Mathématiques, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 9, France
2. CHU Grenoble, France
3. Laboratoire de Psychologie de la Perception (UMR CNRS), CNRS and Université Paris Descartes, France

Shortened title: Inter-manual transfer in preterms

Number of words (main text plus acknowledgements and table): 3526

Number of references: 29

Corresponding author: Fleur Lejeune, Laboratoire de Psychologie et Neurocognition (CNRS, UMR 5105), SHS, Domaine Universitaire, Université Pierre Mendès-France (Grenoble 2), 1251 avenue centrale, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 9, France

E-mail: Fleur.Lejeune@upmf-grenoble.fr

Abstract

This study investigated the ability of preterm infants to learn an object shape with one hand and discriminate a new shape in the opposite hand. Twenty-four preterm infants between 33 and 34+6 Gestational Weeks received a tactile habituation with either their right or left hand followed by a tactile discrimination in the opposite hand. The results confirmed that habituation occurred for both shapes and both hands. Then, they held the novel shape longer in the opposite hand. The results reveal that an inter-manual transfer of shape information is present in preterms at 33 GW. In spite of the immaturity of the corpus callosum in preterms, its development seems to be sufficient to allow some transfer of information between both hands.

Keywords: Prematurity; Haptic perception, Shape; Inter-manual transfer; Corpus callosum

Number of words: 120

Introduction

The somatosensory system is the first sense to develop during embryogenesis. To describe the gradual establishment of cutaneous receptors during this period, researchers studied the responses of aborted foetuses after tactile stimulation on different parts of the body (Hooker, 1938, 1952, Humphrey, 1964, 1970). From the 7th week of gestation, the development of cutaneous receptors begins. The parts of the body which react to tactile stimulation are the area around the mouth (8.5 Gestational Weeks (GW)), the genital area (10.5 GW), the palms of the hands (between 10.5 and 11 GW), and the soles of the feet (12 GW). Finally, the skin receptors are present throughout the body surface to 20 GW. Moreover, pressure exerted on the palm of the hand by an object or even the observer's finger (grasping) triggers the closing of the fingers around the stimulus and appears around 18 GW (Hooker, 1938). Recent studies revealed that the grasping at birth is not only a pure reflex (Hernandez-Reif, Field, Diego, & Largie, 2001; Molina, Guimpel, & Jouen, 2006; Molina & Jouen, 1998, 2004; Rochat, 1987; Streri, Lhote, & Dutilleul, 2000). Manual exploration of the objects would allow the newborn to gather information about them. Using a classic habituation/reaction to novelty procedure (without visual control), Streri, Lhote and Dutilleul (2000) showed that full-term newborns, tested at two days of age, were able to memorise tactile information about specific shape features (prism or cylinder) and detect differences between these two shapes with either the right or left hand. Similar abilities have been found in preterm infants from 33 to 34+6 GW (Lejeune et al., 2010) and these performances were not influenced by hand, shape and preterms' medical history.

This research investigated the ability of preterm human infants to transfer shape information from one hand to the other. One interest of the inter-manual transfer is the assessment of the communication between the two hemispheres and the cerebral plasticity during the cognitive development. Sann and Streri (2008) underlined the inter-manual transfer of shape in twenty-four 2-day-old full-term newborns. After a tactual habituation to a shape in one hand, full-term newborns held the familiar shape longer in the opposite hand, and not the novel one as usually expected in such procedure (Soroka, Corter, & Abramovitch, 1979). In this same study, they have also found an inter-manual transfer of texture with a preference to the novel texture in the opposite hand. According to Sann and Streri (2008), these discrepancies of performances between object properties were explained by a higher and more elaborate representation in the case of shape. These results provided evidence of inter-manual

transfer of shape in full-term newborns with the hypothesis that the corpus callosum may not be sufficiently developed to trigger a full inter-hemispheric transfer of shape, thus leading to a preference for the familiar shape in the opposite hand. Indeed, a fMRI study demonstrated the essential contribution of posterior corpus callosum to the inter-hemispheric transfer of tactile information (Fabri et al., 2001, 2005). Considering that the corpus callosum is more immature in preterm infants than full-term infants (Anderson, Laurent, Woodward, & Inder, 2006) and that very preterm birth (before 33 GW) could be associated with perinatal brain injury including the corpus callosum (Kontis et al., 2009), we wanted to determine if preterm infants are capable of inter-manual transfer of shape after the age of 33 GW.

The main purpose of this study was to investigate the inter-hemispheric transfer of shape information. We performed a habituation / dishabituation procedure without visual control. After habituating to an object in one hand, half infants received the familiar object then the novel object, and the other half received the novel object then the familiar one, in the opposite hand. First, we expected after successive presentations of the same object, a decrease of the holding time for each preterm infant regardless the tested hand or the object's shape, confirming our previous results about the presence of a habituation process. Second, the hypothesis of discrimination in inter-manual transfer would be a differential treatment of novel and familiar objects in the opposite hand, as demonstrated in full-term newborns (Sann & Streri, 2008). Thus, we defined discrimination as having occurred when the mean holding time for the novel object and the mean holding time of the familiar object in the opposite hand differed significantly. Third, because habituation and test phases did not involve the same hand, we conducted another analysis including a comparison of the last two habituation trials and the test trials to assess if the change of hand could affect discrimination. We expected a significant increase of the holding time only for the presentation of the novel object in the opposite hand compared to the last two habituation trials.

Method

Participants

The participants were 24 preterm infants (13 girls and 11 boys) hospitalised in intensive and regular neonatal care units in the hospital of Grenoble (France). At birth, the mean gestational age was 30 weeks and 2 days (range from 26+3 to 33+4 weeks) and the

mean weight was 1419 g. (range from 800 to 2265 g.). When the preterm infants were tested, the mean post-conceptional age was 34 weeks and 3 days (range from 33+2 to 34+6 weeks), the mean post-natal age was 29 days (range from 9 to 55 days), and the mean weight was 1752 g. (range from 1180 to 2190 g.). The preterm infants had to possess the grasping reflex, had to be not affected by a polymalformative syndrome, had to have a normal cranial ultrasonography and no sedative or anticonvulsive treatment during the experiment. Parents gave written consent for their baby to participate in the experiment. An additional participant was eliminated from the study because of crying. The present study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the local ethic committee of the LPNC (CNRS and University of Grenoble 2). The experiment was classified as purely behavioral and the testing involved no discomfort or distress to the infants.

Display and apparatus

The preterm infant was tested in his incubator just before or just after his care, in an arousal state 4 of Brazelton scale (Brazelton & Nugent, 1995) and more than one hour after his alimentation. Because an arousal state is difficult to assess in the absence of training in close observation of the newborn, only two paediatricians and a psychologist were assigned to conduct the experiments. Consequently, it was not possible that experimenters were blind to the hypotheses. The first experimenter installed the infant in a semi-upright position during the whole experiment and positioned his head on the opposite side of the tested hand, so that the infant could not see the test object. The second experimenter recorded holding times of objects with a hand-held computer which calculated a rate of habituation for each infant trial after trial. Inter-observer reliability was not feasible while testing was occurring because there could not be more than two experimenters in the preterm's room for evident ethical reasons governing a neonatal unit. However, the experiment was videotaped to be analysed *a posteriori* in order to verify the holding times recorded by the hand-held computer and to control experimenter bias. Inter-observer reliability was high (Pearson's r = .95). The stimuli were a cylinder (a smoothly curved shape) and a prism (a sharply angled shape). These objects were chosen due to their inclination to easily trigger the palm grasp reflex. The cylinder was 35 mm long and 6 mm in diameter, and the prism was 35mm long and had a 9x6x6 mm triangle base.

Procedure

* Habituation Phase

The first experimenter put an object in either the infant's right or left hand and the first trial started. The experimenter had to hold the preterm's forearm in order to cope with hypotonia (reduced muscular tonus). When the infant grasped the object, the second experimenter began recording the holding time. When the preterm infant released the object after holding it for at least 1 sec., the experimenter stopped the recording to end the trial. If the preterm infant held the object for 60 sec., the first experimenter gently opened the infant's hand and removed the object ending the trial. After an inter-trial interval of about 10 sec., the experimenter presented the object again, beginning another trial. Habituation trials continued until the duration of holding on any two consecutive trials, from the third trial onwards, totalled a third or less of the total holding time of the first two trials. If our criterion of habituation was not met by the 12th trial, the infant was excluded from the experiment. Two groups were made according to the hand in which the object was put during the habituation phase, and then two subgroups were made according to the object's shape used during the same phase. The infants were randomly assigned to these four groups.

* Test phase

Immediately after habituation (just in time for the experimenter to move to the other side of the incubator), four test trials were conducted. The objects were put in the opposite hand of the one tested during the habituation phase. Infant were given in the opposite hand the familiar object during two consecutive trials and the novel object during two consecutive trials. The order of presentation of the two objects was counterbalanced between infants.

Results

**Habituation phase*

Four parameters of performances were measured: mean total holding times occurring until the habituation criterion was reached, mean holding times of the first two trials, mean holding times of the last two trials and mean number of trials conducted. Table 1 presents the main characteristics of habituation. Firstly, the results revealed that an habituation was present for each preterm infant.

Secondly, to ascertain whether the habituation measures were affected by hand and shape, a 2 (Hand: right vs. left) × 2 (Shape: prism vs. cylinder) ANOVA was performed for each parameter of performances. First, for the mean total holding times, there was no significant effect of the Hand factor ($F(1,23) = .803$; $p = .381$), Shape factor ($F(1,23) = .280$; $p = .603$) and Hanḍ × Shape interaction ($F(1,23) = 2.721$; $p = .115$). Second, for the mean holding times of the first two trials, the analyses revealed a main effect of the Hand factor ($F(1,23) = 7.261$; $p = .014$). Thus, preterm infants held objects with the right hand (M = 67s; SD = 26) longer than with the left hand (M = 40s; SD = 22) during the first two trials of habituation, whereas there were no significant effect of the Shape factor ($F(1,23) = .636$; $p = .434$) and Hanḍ × Shape interaction ($F(1,23) = .699$; $p = .413$). Third, for the mean holding times of the last two trials, the analyses revealed a main effect of the Hand factor ($F(1,23) = 9.690$; $p = .05$). Thus, preterm infants held objects with the right hand (M = 8.4s; SD = 4.9) longer than with the left hand (M = 3.9s; SD = 3) during the last two trials of habituation, whereas there was no significant effect of the Shape factor ($F(1,23) = .484$; $p = .495$) and Hanḍ × Shape interaction ($F(1,23) = .313$; $p = .582$). Finally, for the mean number of trials, there was no significant effect of the Hand factor ($F(1,23) = .360$; $p = .555$), Shape factor ($F(1,23) = .090$; $p = .767$) and Hanḍ × Shape interaction ($F(1,23) = 2.252$; $p = .149$). The Hand factor was included in the next statistical analysis.

**Test phase*

First, a 2 (Order: Novel-Familiar vs. Familiar-Novel) × 2 (Test Trials: familiar vs. novel) × 2 Hand (Right vs. Left) ANOVA was performed for the holding times with the Order and the Hand as between-subjects factors and the Test Trials as within-subjects factor. Results showed no significant effect of the Order factor ($F(1, 20) = .098$; $p = .758$) and the Hand factor ($F(1, 20) = .109$; $p = .744$), and a significant effect of the Test Trials factor ($F(1,20) = 7.705$; $p = 0.012$): preterm infants held the novel shape (M = 23.5s; SD = 17) longer than the familiar one (M = 14.2s; SD = 14). Results indicated a significant Order × Hand interaction ($F(1,20) = 4.451$; $p = .048$). No significant Test Trials × Order Interaction ($F(1,20) = .294$; $p = .594$), Test Trials × Hand Interaction ($F(1,20) = .246$; $p = .625$) and Test Trials × Order × Hand Interaction ($F(1,20) = .689$; $p = .416$) was found. Consequently, the significant Order × Hand interaction would not influence the discrimination process revealed by the significant Test Trials effect. These results suggested that a reaction to the novel shape is obtained in

preterm infants, and neither the order of presentation nor the tested hand influenced this preference.

In order to assess if the change of hand could affect discrimination, a second ANOVA was conducted with the Phase as within-subjects factor (last two habituation trials vs. two novel test trials vs. two familiar test trials) for the holding times. The analysis revealed a main effect of the Phase factor ($F(2,46) = 14.138$; $p < .001$). Figure 1 illustrates the results. Planned comparisons were then conducted to examine differences in holding times between habituation phase and test phase according to the nature of the object (novel or familiar). First, these comparisons showed that infants held the novel object in the opposite hand significantly longer during test phase than during the last two habituation trials ($F(1,23) = 25.371$; $p < .001$). Second, the analyses revealed that infants held the familiar object in the opposite hand significantly longer during test phase than during the last two habituation trials ($F(1,23) = 6.648$; $p = .017$). Thus, preterm infants held novel and familiar objects longer in the opposite hand compared to the last two habituation trials, but the increase between the two phases was significantly greater for the novel object than for the familiar one ($F(1,23) = 8.348$; $p = .008$)

Discussion

The aim of this research was to investigate the ability of preterm infants to transfer shape information from one hand to the other. Firstly, the results confirmed the presence of a haptic manual habituation for each hand and for each shape in preterm infants between 33 and 34+6 GW. However, contrary to our previous study with 24 infants and an identical habituation procedure (Lejeune et al., 2010), a main effect of hand was observed for two parameters of habituation: preterm infants held objects with the right hand longer than with the left hand during the first two and the last two trials of habituation. Few similar asymmetries have been found, with a stronger grasping on the right hand (Caplan & Kinsbourne, 1976; Petrie & Peters; 1980). Nevertheless, regarding the other parameters of habituation (total holding time and number of trials), no other effect of hand was significant. Moreover, during test phase, analyses did not reveal any influence of the hand on performances. This specific hand effect is difficult to explain and could be only the reflection of an important inter-individual variability. However, the presence of a haptic manual

habituation, in relation with the results of the test phase, means that preterm infants are able to memorize the shape of an object with each hand.

Secondly, the main result of the present experiment was that, after habituation to the shape of an object in one hand, preterm infants held the novel object longer in the opposite hand. For the first time, the results revealed that an inter-manual transfer of shape was present in preterm infants between 33 and 34+6 GW. Fabri et al. (2005) showed the essential contribution of posterior corpus callosum to the inter-hemispheric transfer of tactile information, so its development seems to be sufficient to permit some transfer of shape information between both hands in preterm infants between 33 and 34+6 GW. However, preterm infants increased their holding time in the opposite hand with both novel and familiar objects, although this increase was significantly greater for the novel object than for the familiar one. Whereas the increase of holding time was expected for the novel object confirming the presence of discrimination, the increase of holding time for the familiar object was more surprising. This second result gives information about the influence of changing hands on manual discrimination. This pattern of results could be due to two factors, one peripheral and one central. At a peripheral level, the tactile receptors were not the same as those stimulated during habituation and the information collected by the opposite hand had to be sent to the central nervous system by another pathway. At a central level, the comparison of objects' information collected by both hands required more time than during an intramanual discrimination. This increase of holding time could reflect the time required to transfer information between the hemispheres via the corpus callosum.

Finally, the direction of preference (novelty preference) differed from that observed in 2-day-old full-term newborns with a similar procedure. As indicated in Introduction, after a tactual habituation to a shape in one hand, full-term newborns held the familiar shape longer in the opposite hand (familiar preference) (Sann & Streri, 2008). Conversely, they have found an inter-manual transfer of texture in full-term newborns, with a preference for the novel texture in the opposite hand (novelty preference). This difference in direction of preference between object properties was explained by the authors by a higher and more elaborate representation in the case of shape. According to this explanation, it would mean that preterm infants could have a more elaborate representation of shape than full-term newborns, leading to a preference for the novel shape in the opposite hand. If it is the case, the experiential aspect seems to prevail over the maturation aspect. In fact, preterm infants were tested at a lesser post-conceptional age (34+3 GW) than full-term newborns (40+2 GW) but at a higher postnatal age (30 days *vs.* 2 days). Consequently, our results could be explained by a greater

tactile experience *ex utero* than for full-terms newborns. However, 2-month-old full-term infants still demonstrated a familiar preference (Streri, Lemoine, & Devouche, 2008) while their postnatal age was higher than that of our preterm infants. To explain this second discrepancy, the type of tactile experiences would be a second factor and, with the length of experience, would influence the direction of preference. Indeed, preterm infants in their incubators receive lots of repetitive and stereotyped tactile stimulations (daily cares, alimentation, medical examinations, etc.). Hospitalized infants experience up to 14 painful procedures per day and up to 53 different procedures during their first 15 days of life (Simons et al., 2003). Bartocci, Bergqvist, Lagercrantz and Anand (2006) showed that tactile and painful stimuli specifically activated somatosensory cortical areas. This result indicates that there is a central integration of tactile information including painful information in preterm newborns from 28 to 36 GW. In addition, Gimenez et al. (2008) showed that maturation of brain tissues may be accelerated by factors associated with preterm birth, perhaps directly by the effects of the extrauterine environment. Finally, the use of developmental cares programs, in other words adapted sensory stimulations, would enhance the development of preterm infants (Als et al., 2004; Harrison, Williams, Berbaum, Stem, & Leeper, 2000). In short, these particular tactile experiences could enhance the development of the inter-manual transfer of information in preterm infants, even among younger infants who had at least 9 days of life. In this case, this acceleration would be consistent with the hypothesis of Sann and Streri (2008). Anyway, this discrepancy in direction of preference is still debated in the literature and seems to depend on several factors (Pascalis & De Haan, 2003). Whatever the direction of preference, in both cases, it indicates the presence of discrimination and suggests that the development of the corpus callosum would be sufficient to permit some transfer of shape information between the two hands in preterm infants from 33 GW.

In conclusion, the present study showed for the first time that inter-manual transfer of shape information is still present at 33 GW in preterm infants. Further investigations are needed to better understand the discrepancies of the direction of preference (novel vs. familiar) according to the objects properties, the post-natal age and the tactile experience, as well as the question of higher cognitive functions like intermodal transfer between touch and vision in preterm newborns (Streri & Gentaz, 2003, 2004; Sann & Streri, 2007).

Acknowledgements

We thank the babies and their parents who participated in the experiment, the staff members working in the CHU of Grenoble, the CNRS, the Rhône-Alpes region (funds SRER CIBLE 2007 obtained by E.G., number: 07 016861 01- TZ 016), Olivier Pascalis and Florence Berger.

References

Als, H., Duffy, F. H., McAnulty, G. B., Rivkin, M. J., Vajapeyam, S., Mulkern, R. V., et al. (2004). Early experience alters brain function and structure. *Pediatrics, 113*(4), 846-857.

Anderson, N. G., Laurent, I., Woodward, L. J., & Inder T. E. (2006). Detection of impaired growth of the corpus callosum in premature infants. *Pediatrics*, *118*(3), 951-960.

Bartocci, M., Bergqvist, L. L., Lagercrantz, H., & Anand, K. J. S (2006). Pain activates cortical areas in the preterm newborn brain. *Pain, 122*(1), 109-117.

Brazelton, T. B., & Nugent, J. K. (1995). *Neonatal Behavioral Assessment Scale* (3rd ed.). London: Mac Keith Press.

Caplan, P. J., & Kinsbourne, M. (1976). Baby drops the rattle: asymmetry of duration of grasp by infants. *Child Development, 47*(2), 532-534.

Fabri, M., Polonara, G., Del Pesce, M., Quattrini, A., Salvolini, U., & Manzoni, T. (2001). Posterior corpus callosum and interhemispheric transfer of somatosensory information: An fRMI and neuropsychological study of partially callosotomized patient. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*(8), 1071-1079.

Fabri, M., Del Pesce, M., Paggi, A., Polonara, G., Bartolini, M., Salvolini, U., et al. (2005). Contribution of posterior corpus callosum to the interhemispheric transfer of tactile information. *Cognitive Brain Research, 24*(1), 73-80.

Gimenez, M., Miranda, M. J., Born, A. P., Nagy, Z., Rostrup, E., & Jernigan, T. L.(2008). Accelerated cerebral white matter development in preterm infants: a voxel-based morphometry study with diffusion tensor MR imaging. *Neuroimage, 41*(3), 728-734.

Harrison, L. L., Williams, A. K., Berbaum, M. L., Stem, J. T., & Leeper, J. (2000). Physiologic and behavioral effects of gentle human touch on preterm infants. *Research in Nursing & Health, 23*(6), 435-446.

Hernandez-Reif, M., Field, T., Diego, M., & Largie, S. (2001). Weight perception by newborns of depressed versus non-depressed mothers. *Infant Behavior and Development, 24*(3), 305-316.

Hooker, D. (1938). The origin of the grasping movement in man. *Proceedings of the American Philosophical Society*, *79*, 597-606.

Hooker, D. (1952). *The Prenatal Origin of Behavior*. Lawrence, KS: University of Kansas Press.

Humphrey, T. (1964). Some correlations between the appearance of human fetal reflexes and the development of the nervous system. *Progress in Brain Research, 4*, 93-135.

Humphrey, T. (1970). The development of human fetal activity and its relation to postnatal behavior. In H. Reese & L. Lipsitt (Eds.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 5, pp. 1-52). New-York: Academic Press.

Kontis, D., Catani, M., Cuddy, M., Walshe, M., Nosarti, C., Jones, D., et al. (2009). Diffusion tensor MRI of the corpus callosum and cognitive function in adults born preterm. *NeuroReport, 20*(4), 424-428

Lejeune, F., Audeoud, F., Marcus, L., Streri, A., Debillon, T., & 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. doi:10.1371/journal.pone.0009108.

Molina, M., Guimpel, B., & Jouen, F. (2006). Weight perception in neonate infants. *Journal of Integrative Neuroscience, 5*(4), 505-517.

Molina, M., & Jouen, F. (1998). Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. *Infant Behavior and Development, 21*(4), 659-666.

Molina, M., & Jouen, F. (2004). Manual cyclical activity as an exploratory tool in neonates. *Infant Behavior and Development, 27*(1), 42-53.

Pascalis, O., & De Haan, M. (2003). Recognition memory and novelty preference: what model? In H. Hayne & J. Fagen (Eds.), *Progress in infancy research* (Vol. 3, pp 95-120). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Petrie, B. F., & Peters, M. (1980). Handedness: left/right differences in intensity of grasp response and duration of rattle holding in infants. *Infant Behavior and Development, 3*, 215-221.

Rochat, P. (1987). Mouthing and grasping in neonates: evidence for the early detection of what hard or soft substances afford for action. *Infant Behavior and Development, 10*(4), 435-449.

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.

Sann, C., & Streri, A. (2008). Inter-manual transfer of object texture and shape in human neonates. *Neuropsychologia, 46*(2), 698-703.

Simons, S. H., van Dijk, M., Anand, K. S., Roofthooft, D., van Lingen, R. A., & Tibboel, D. (2003). Do we still hurt newborn babies? A prospective study of procedural pain and analgesia in neonates. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, 157*(11), 1058-1064.

Soroka, S. M., Corter, C. M., & Abramovitch, R. (1979). Infants' tactual discrimination of novel and familiar tactual stimuli. *Child Development, 50*(4), 1251-1253.

Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. *Somatosensory & Motor research, 20*(1), 11-16.

Streri, A., & Gentaz, E. (2004). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handness in human newborns. *Neuropsychologia, 42*(10), 1365-1369.

Streri, A., Lemoine, C., & Devouche, E. (2008). Development of inter-manual transfer of shape information in infancy. *Developmental Psychobiology, 50*(1), 70-76.

Table 1 Characteristics of habituation (means and (standard deviations)) according to the hand (right or left) and to the object (prism or cylinder).

Hand	Shape	Total holding time (s)	First two trials (s)	Last two trials (s)	Number of trials
Right	Prism	91.6 (18.3)	58.8 (25.3)	7.5 (3.1)	4.8 (1)
	Cylinder	139.7 (53.3)	75.1 (26)	9.3 (4.7)	5.8 (1.9)
Left	Prism	108.2 (73.7)	40.3 (26.2)	3.8 (3.3)	6 (0.9)
	Cylinder	83.5 (55.5)	39.9 (19.3)	4 (2.9)	5.3 (1.4)
Total		105.8 (55)	53.5 (27.2)	6.2 (4.1)	5.5 (1.4)
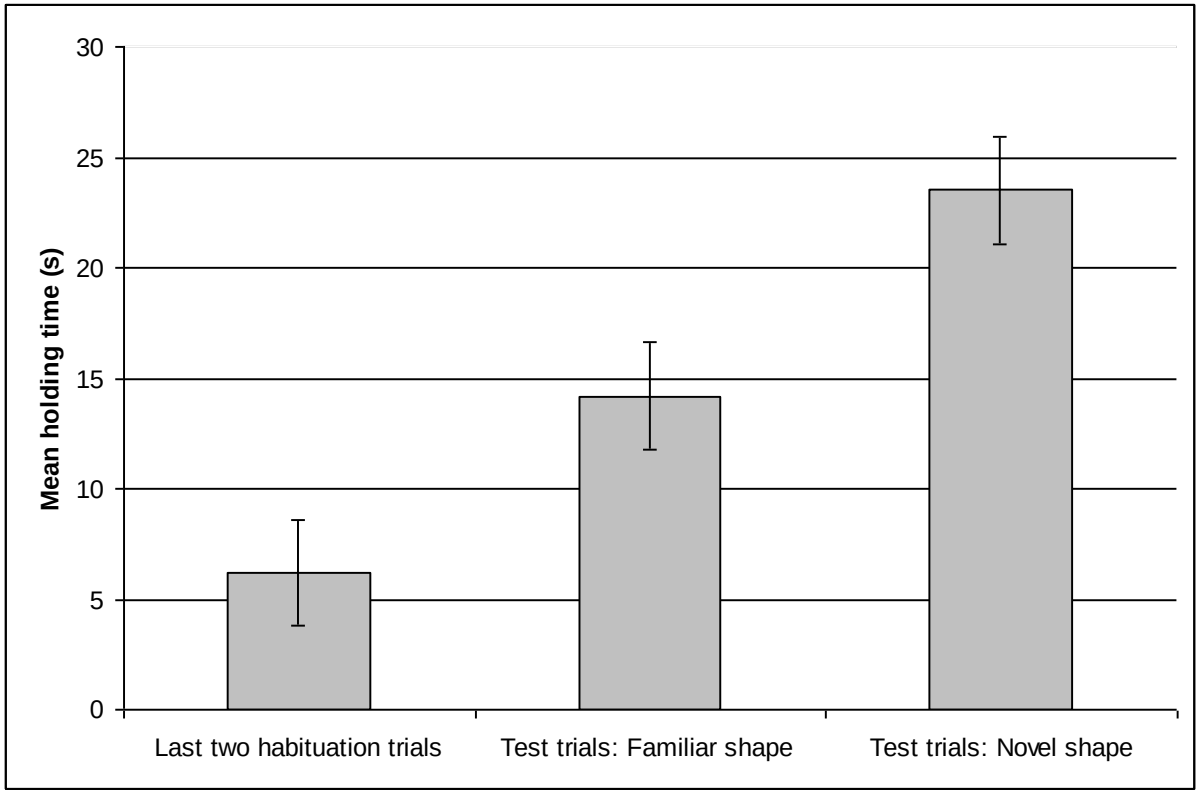
Figure 1 Mean holding times in seconds and standard errors during the last two habituation trials (in one hand) and during test trials for the novel and the familiar objects (in the opposite hand)