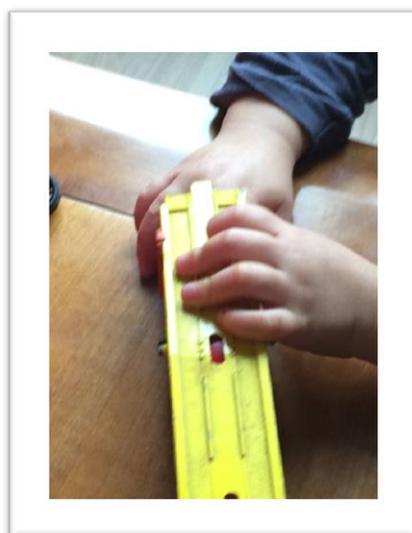


Mémoire de diplôme interuniversitaire en rééducation et appareillage de la main

Université Joseph Fourier



Le développement des habiletés  
manuelles  
chez l'enfant



Laure Vial

Correcteurs : -Pr Moutet, CHU Grenoble

-Dr Guero, Paris 16

-Antoine Baiada, Marseille

Années universitaires 2015-2017

Aux enfants petits et grands...

« Toutes les grandes personnes ont d'abord été des enfants, mais peu d'entre elles s'en souviennent. »

Antoine de Saint Exupéry.

## Résumé :

Des millions d'années ont permis l'évolution et l'utilisation d'habiletés manuelles créatives.

De la vie in utero à l'âge adulte, le mouvement de la main émerge très tôt. Il passe par différentes périodes de croissance en lien avec la maturité corticale.

Le programme moteur de la main de l'enfant, pour une part, déterminé génétiquement de manière innée, s'enrichit des acquisitions liées au contact avec le milieu extérieur.

Le contrôle postural, la maturation corticale, le langage et l'évolution de l'équilibre favorisent des potentialités manuelles exponentielles.

De la latéralité aux coordinations bimanuelles, l'apprentissage permet à l'enfant d'acquérir des praxies.

La confrontation aux apports de la recherche en neurosciences nous amène à modifier nos pratiques rééducatives voire à ouvrir de nouvelles voies dans notre activité de thérapeute de la main en pédiatrie...

## REMERCIEMENTS

C'est avec grand plaisir que je remercie toutes les personnes qui m'ont accompagnées dans ce travail :

A Nicole Basset et Antoine Baiada pour leur enthousiasme, leurs partages et leurs encouragements à suivre ce sujet de mémoire si merveilleux.

Je remercie aussi Antoine pour ses échanges, son ouverture sur le monde, l'art et l'humanitaire.

À toutes les personnes que j'ai rencontrées sur mon parcours qui m'ont permis d'avancer Anne, Dominique et Sandrine, kinésithérapeute, Chloée, Claire et Marie, ergothérapeute, Jeanne et Véronique, psychothérapeute, Claire, Stéphanie et Céline, professeur des écoles, Françoise, orthophoniste, Antoine, maïeuticien échographe, Aymeric chercheur en neurosciences, Dr Guillot médecin de rééducation en centre pédiatrique, Dr Vouillaume, Dr Charvet et Dr Bouchard, pédiatre.

Je remercie le centre médical pédiatrique de Romans Ferrari, PEP à Nice, Kerpape à Lorient, le centre de rééducation Marcel Sautel à Lille, et le centre d'éducation motrice Dommartin pour nos échanges qui ont nourri ma réflexion.

Je remercie vivement mes amis et ma famille pour leur hospitalité durant les stages et les semaines de formations. Leurs encouragements sur mon parcours et leur dynamisme ont été bienvenus : Françoise et Mickael, Anna, Hannan et Renaud, Aurélie, Evelyne, la famille Destribats, Sophie et Vincent, Isabelle et Didier, Laurent, Florence et Christian, Charles, Emilie et Grégoire, Camille, la famille Macé, Claire et Josselin, Robert, Sylvanna et Pierre Yves, Florence et Jean- Paul, Jean -Pierre et Marie.

Sans oublier Sarah, Sandrine avec qui nous partageons la même passion, soigner les enfants.

Les lieux de stage ont été des moments de rencontres, de découvertes, d'ouvertures et d'apprentissages, je remercie Nicole Basset, Dominique Thomas, Thomas Galéwitch, Anne Lise, François Délaquaize et son équipe, Eric Diab et Barbara Balmélli, Frédéric Degez et son équipe, Claude Le Lardic, Jean Noel Théron, Sylvain Célérier, l'équipe de Bordeaux, Dr Chauvineau, Véronique le Gac, Grégorie Mesplié et son équipe, Philippe Pernot ainsi que Michel Boutan et son équipe. J'espère que mes neurones miroirs auront été suffisamment éveillés.

Merci aux enfants, pour leur gaieté, leur empathie, leur sourire et leurs habiletés époustouflantes : Adèle, Lili Rose, Aimé, Antonin, Kotone, Moïse, Romane, Martin, Louise, Mani, Faustine, Sixtine, Léopold, Noémie, Ambre, Julie, Anna et Lucas.

Merci à Olivier Roan pour ses dessins amusants et Christian pour la réalisation des jouets en bois « hand-made ».

Et enfin, je remercie le Professeur Moutet pour son organisation et pour m'avoir donné la chance de vivre cette belle aventure humaine et professionnelle.

Ce mémoire est le fruit d'un grand travail d'équipe...

## SOMMAIRE

	pages
INTRODUCTION	1
<u>PREMIÈRE PARTIE</u> : La naissance de la main	2
1.1. La phylogénèse et l'habileté manuelle	2
1.2. Les répertoires moteurs in utero	4
1.3. L'os, charpente du mouvement	8
1.4. Le développement de la main en lien avec le système nerveux	10
1.4.1. La maturation corticale	10
a) Le cerveau	10
b) L'organisation neurale	11
c) La synaptogenèse	12
d) La myélinisation	13
e) L'affectivité	13
f) La période sensible	14

1.4.2. Les systèmes de commande motrice	15
1.4.3. La description des réflexes archaïques concernant la main	17
a) Le grasping	18
b) Le réflexe asymétrique du cou	18
c) Le réflexe de moro	19
d) Le réflexe paume-bouche	19
1.4.4. L'organisation motrice et ses feedbacks	19
1.4.4.1. L'intégration sensorielle dans le développement des habiletés manuelles	20
1.4.4.2. Le système somato-sensoriel	22
a) Le système somesthésique	22
b) Le système visuel	27
c) Le système auditif	30
1.4.5. De la motricité réflexe vers la motricité volontaire fine	31
a) Les premières prises manuelles	31
b) Les premières phases de la préhension	33
1.5. Les acquisitions motrices et posturales	36
1.5.1. Le tonus du nouveau-né	37
1.5.2. Comment l'enfant fait-il face à la pesanteur ?	37
1.5.3. Les acquisitions motrices et posturales la première année	39
1.5.4. Les référentiels posturaux	39

1.5.5. Les niveaux d'évolution motrice	43
1.5.6. L'accès aux différents espaces, les aspects spatiaux temporels	45
1.5.7. L'équilibre et la main	47
1.6. La latéralité	48
1.7. La main et la communication	52

DEUXIEME PARTIE : Des mouvements manipulatoires aux gestes de la main : les praxies.

2.1. Les coordinations bimanuelles	53
2.2. De l'utilisation de l'objet à l'usage de l'outil	57
2.3. Le schéma corporel	59
2.3.1. Qu'est-ce que le schéma corporel ?	59
2.3.2. Les séquences d'acquisition	60
2.3.3. L'image corporelle	61

Pages

2.3.4. L'outil dans le schéma corporel	61
2.4. Les neurosciences et l'apprentissage	62
2.4.1. Capter l'attention pour bien utiliser sa main	63
a) L'état d'éveil	63

b) L'attention visuo-spatiale	63
c) L'attention focalisée	64
d) L'attention soutenue	64
e) L'attention ouverte, divisée	64
f) L'attention partagée	65
2.4.2. Les fonctions exécutives aux commandes du geste	66
2.4.3. Comment mémoriser un geste ?	68
a) La mémoire procédurale	69
b) La mémoire déclarative	70
c) Les mémoires à court et à long terme	71
d) La mémoire musculaire	71
2.4.4. Apprendre grâce aux neurones miroirs	72
2.4.5. L'apprentissage moteur	74
2.5. Du mouvement au geste	76
2.5.1. L'intention d'agir	77
2.5.2. La phase de planification	78
2.5.3. La programmation motrice de l'action	78
2.5.4. La décision d'agir	78
2.5.5. L'exécution du geste	79

2.5.6. A quelle période l'enfant a-t-il accès à l'imagerie motrice, l'imagerie mentale et à la reconnaissance de latéralité ?	79
2.6. Les praxies	82
2.6.1. L'écriture	84
2.6.2. Les compétences nécessaires à l'apprentissage de l'écriture	87
2.6.3. Les repas	89
2.6.4. La toilette	89
2.7. De nouvelles prises en grandissant	90
2.8. La dextérité	91
2.9. Le développement du contrôle postural en grandissant	91
2.9.1. La première période : de la naissance à la marche	92
2.9.2. Une deuxième période située entre la période d'acquisition de la marche à l'âge de 6 ans	92
2.9.3. Une troisième période, vers 7 ans	92
2.9.4. L'adolescence	93
2.10. L'éducation	93
2.11. Le jeu : l'environnement de l'enfant	94
TROISIEME PARTIE : La rééducation	96
3.1. Les principales pathologies de la main rencontrées en pédiatrie	96
3.2. La prise en charge de l'enfant	97

3.3. Les spécificités pour la rééducation de la main de l'enfant	98
3.3.1. Différents éléments sont essentiels à la prise en charge des enfants	98
3.3.2. Les particularités en fonction de l'âge	100
a) le nourrisson et l'enfant de bas-âge	100
b) L'enfant plus grand	102
3.4. La rééducation	102
3.4.1 Le bilan	102
	pages
3.4.2. Le traitement	103
1. la douleur	105
2. La trophicité	106
3. La mobilisation	106
4. La découverte et la stimulation de la sensibilité	107
5. Les exercices fonctionnels	108
3.5. L'apport des neurosciences dans la rééducation	112
3.6. Les nouvelles technologies	114
3.7. L'appareillage	115
3.7.1. Les orthèses	115
3.7.2. Les prothèses	116
3.8. L'éducation thérapeutique	117
3.9. Les aides techniques	118

CONCLUSION	119
DEFINITION	120
ANNEXE 1 : L'évolution de l'homme	122
ANNEXE 2 : Développement embryologique de la main	124
ANNEXE 3 : Le cerveau	128
ANNEXE 4 : Evolution de la main et des grands mouvements de 0 à 18 mois.	133
ANNEXE 5 : Différentes prises en grandissant	136
ANNEXE 6 : Bilans	139
ANNEXE 7 : Tableau de traitement	145
« La main » extrait du livre de Pierre Rabhi	146
BIBLIOGRAPHIE	147
ICONOGRAPHIE	152



La main fascine, elle a contribué en partie à l'évolution de l'espèce et nous a rendu « humain ».

Son rôle dans le développement socioculturel est primordial. Elle est avant tout un outil. Son organisation nous échappe tant elle nous accompagne naturellement.

L'enfant émerveille par ses explorations perpétuelles, son évolution, ses habiletés manuelles évoluent de la période intra-utérine à l'âge adulte.

La prise en charge durant quelques années d'enfants porteurs de pathologies variées : brûlure, atteinte neurologique centrale (traumatisme crânien, hémiplegie, suite de tumeur cérébrale, polyhandicapé), atteinte neurologique périphérique (Guillain barré et plexus brachial) m'a permis d'observer la main de ces enfants. Le questionnement suivant a orienté ma recherche : la connaissance du développement des habiletés manuelles peut-elle enrichir notre suivi de rééducateur, notre compréhension, nos stimulations, notre regard thérapeutique, ainsi que l'éducation thérapeutique ?

Il me semble essentiel tout d'abord de comprendre ce qu'est l'habileté manuelle.

Habilitété : « habile » vient du latin *habilitas*, aptitude, qualité de celui qui réalise un acte avec une bonne adaptation psychomotrice dans un but poursuivi. Ce terme renvoie à la notion d'adresse et de dextérité, d'agilité avec une certaine ingéniosité (intelligence). L'habileté peut être une aptitude innée ou développée (dictionnaire Larousse).

Cet exposé se déroule en trois parties :

Le développement de la main au niveau phylogénétique, embryologique et osseux est suivi de son évolution du 1<sup>o</sup> jour jusqu'à l'acquisition des praxies. Le lien avec les niveaux d'évolution motrice et la construction posturale favorise la compréhension de son rôle dans l'équilibre. La construction de la latéralité commence très tôt et se définit durant l'enfance.

Les coordinations bimanuelles, l'évolution des fonctions exécutives, de l'attention et la mémorisation vont donner accès à l'apprentissage des praxies. Les recherches des neurosciences montrent le potentiel d'habileté grandissant de l'enfant. Le rôle de l'éducation et des apprentissages moteurs ont cependant une place majeure.

Dans une activité de rééducation pédiatrique de la main, l'apport potentiel de cette recherche, est développé à travers la connaissance de l'évolution de l'habileté physiologique de la main.

## **PREMIERE PARTIE : La naissance de la main.**

« L'enfance à portée de main ».

### **1.1. La phylogénèse et l'habileté manuelle.**

Déjà, l'Homme dans la préhistoire appliquait ses mains sur les parois des grottes et laissait sa trace. La main en contact direct avec le monde est extrêmement habile et permet d'agir sur l'environnement.

L'Evolution nous donne une idée d'ontogenèse propre à chaque espèce. Elle parle de la théorie du changement en lien avec la nature lors des causes environnementales majeures (glaciation) et en interaction avec les espèces (1). Elle a créé au fil du temps des adaptations et des spécialisations.

« L'homme s'enracine chez les primates » d'après Piveteau (2), cependant il a des caractéristiques propres par rapport à nos ancêtres. Un allongement de la durée de la gestation, une petite enfance, une longue période de développement, une adolescence et une espérance de vie plus longue le distinguent des singes (1).

Le nouveau-né est le fruit déjà d'une longue évolution sur le plan phylogénétique, il a déjà traversé bien des stades de l'évolution de l'espèce et l'habileté manuelle de l'enfant est déjà la résultante d'un long développement.

Premier mammalien, mammifère insectivore, premier primate, Australopithèque, homo habilis, homo erectus, homo néanderthalis, homo sapiens, homo sapiens sapiens se sont succédés.

Plus de précisions sur l'évolution sont proposées en annexe 1.

Fabrication d'outils, découverte du feu, de la socialisation, découverte de l'art ont façonné la main.

En quelques millions d'années, la posture, les structures cérébrales, la mandibule, la main avec le développement du pouce, l'anatomie faciale et le langage ont été des évolutions fondamentales de notre espèce. Conjointement, l'anatomie de la main a évolué avec le développement d'une articulation en selle et une **capacité d'opposition au niveau du pouce** (3).

L'évolution de la taille du cerveau a continué à croître. Des circonvolutions ont permis de garder une taille stable. Des possibilités devenues plus complexes ont émergé (4). **L'asymétrie du cerveau**, fruit de nombreuses années d'évolution a permis la latéralisation des fonctions, le développement du langage et l'optimisation des relations du cerveau cognition (5)(6).

**La croissance des aires visuelles** s'est accélérée aussi à partir de l'évolution des primates. Les singes ont commencé à développer des capacités visuo-motrices sophistiquées pour attraper, manipuler les branches, et les morceaux de bois. L'homme possède aujourd'hui plus de trente aires visuelles (4).



**La verticalisation** a libéré la main, elle a gagné la capacité à utiliser des outils amovibles plus librement.

**Le développement du langage, de la socialisation, des aires visuelles, de la capacité d'imitation** ont permis la transmission, l'apprentissage puis l'arrivée de l'art (4). L'apparition d'habiletés manuelles créatives a pu se développer (7).

Dans l'évolution de l'Espèce, le langage gestuel a précédé le langage verbal. Le geste du pointé de l'index est un geste commun entre l'enfant et les singes Baboos, c'est un **geste de communication** (8).

Les ancêtres d'homo sapiens possédaient un développement cortical adapté au corps, ils ont développé des habiletés communicatives prélinguistiques basées sur des gestes plus que sur des sons (9).

Des modifications au niveau de la moelle épinière ont aussi contribué à plus de précision, à **une commande pouce-index plus habile**. Des connexions cortico-spinales directes avec des motoneurones ont émergé ainsi qu'une augmentation du nombre et de la taille des fibres cortico-spinales. Cette évolution du tractus a contribué à améliorer la dextérité de la pince pouce-index, et a donné la capacité à préformer cette prise. Sa coordination, sa précision, différentes utilisations de la main ont évolué au fil du temps (10).

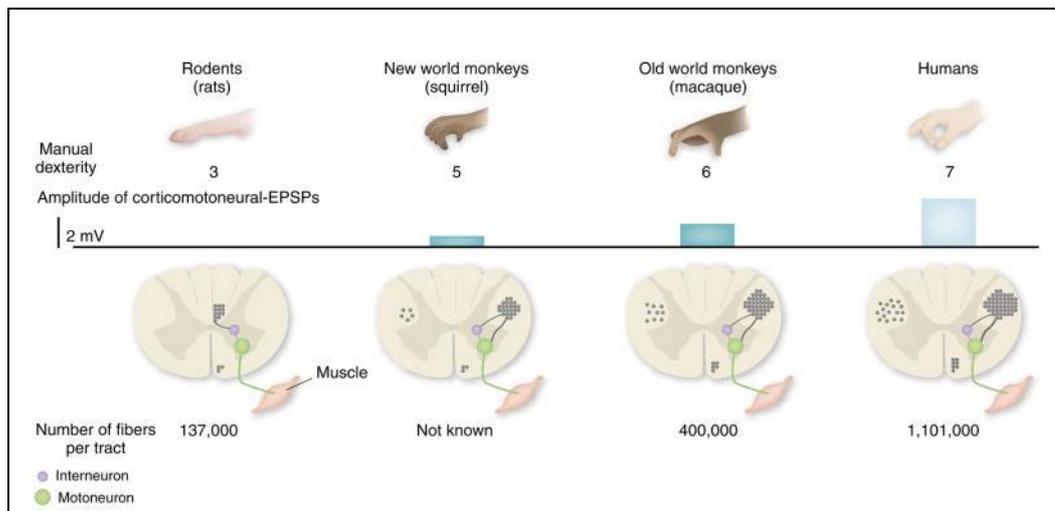


Photo 1 : Schéma issu de l'article n°10

A la naissance, l'homme n'est pas seulement déterminé par son développement, il a une capacité d'adaptation, d'apprentissage et à partir de l'homo erectus, il vit en société.

### 1.2. Les répertoires moteurs in utero.

L'organisation prénatale est fondamentale pour le développement, c'est un processus dynamique responsable des constantes transformations, il est continu de la conception à la maturité.

Les grandes étapes du développement in utero en période pré-embryonnaire et embryonnaire puis fœtale se décrivent **selon un calendrier rigoureusement pré établi**, au cours duquel les mains se développent avant les pieds (11)(12)(13).

**Les membres sont constitués dès la 4<sup>e</sup> semaine**, leur développement ainsi que la maturation corticale engendrent l'évolution de certains mouvements des mains.

Les progrès de l'échographie aujourd'hui en quatre dimensions ont permis d'observer les mouvements spontanés du fœtus. Les mouvements incoordonnés, cycliques nommés rythmiques sont retrouvées lors de la deuxième moitié de la gestation et après la naissance.



Photo 2 : Echographie en 3D.

La croissance a commencé dès la fécondation. D'une ébauche, **le développement progresse selon trois plans : cranio-caudale, antéro-postérieur et proximo-distal.**

**Une palette** s'est formée et par un mécanisme d'**apoptose**, les doigts se forment à la 8<sup>e</sup> semaine. Parallèlement un mécanisme de **rotation latérale** se produit au niveau du membre supérieur autour de l'axe proximo-distal.

À la 5<sup>e</sup> semaine, les éléments squelettiques se sont aussi formés par un mécanisme d'ossification enchondrale, celui-ci évolue en ébauche cartilagineuse avant de s'ossifier. **Cette ossification est lente et se termine à la 12<sup>e</sup> semaine pour les phalanges et après la naissance pour certains os du carpe.**

Les progrès de la génétique moléculaire ont permis de connaître les gènes impliqués dans le développement embryonnaire normal. Des anomalies congénitales de la main d'origines diverses existent. Maladies dominantes, récessives, anomalies chromosomiques ou mutation de gènes, peuvent entraîner une malformation pendant cette période. Une insuffisance de formation du mésenchyme, des erreurs d'expression de certaines protéines et de facteurs régulateurs sont aussi susceptibles d'entraîner certaines pathologies.

Pour mieux comprendre la morphogenèse de la main, une description précise du développement embryologique est documentée en annexe 2.

En ce qui concerne le mouvement, de la 1<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> semaine, l'embryon est un être infiniment replié sur lui-même, il est animé de mouvements irréguliers au niveau du corps.

Dans un milieu aqueux, en apesanteur, ses mouvements sont des glissements, des retournements, ils vont augmenter en nombre et en amplitude. « Le fœtus n'a pas à fournir d'effort musculaire particulier pour lutter contre la pesanteur » écrit Gombergh.

Cette activité primaire se structure avec la maturation du système nerveux.

Dès la 7<sup>e</sup>- 8<sup>e</sup> semaine de gestation la motricité spontanée apparaît la première. Elle est de type neurogène. Cette motricité, incoordonnée du fœtus a souvent une organisation cyclique nommée rythmie. Elle est retrouvée lors de la deuxième moitié de la gestation et après la naissance. Les premières réactions à une stimulation apparaissent après les premiers mouvements spontanés (7). Le fœtus réagit à des perceptions.

Dès la 7<sup>e</sup> semaine, les mouvements des quatre membres sont décelables à l'échographie. Les mouvements sont rapides et incomplets. Il n'existe pas de dissociation des membres supérieurs et des membres inférieurs.



D'après des études, dès la 10<sup>e</sup> semaine, le fœtus peut être observé en train de sucer son pouce (réflexe de succion) et 80% des fœtus sucent leur pouce droit... (14). C'est le début de l'oralité et de la fonction buccale archaïque.

Les mouvements vers la bouche et vers l'œil sont plus fréquents que vers d'autres parties du visage. Les résultats d'une étude indiquent que le fœtus peut ajuster le mouvement de la main en fonction de la cible à atteindre, sans doute en utilisant les sensations de ses organes sensoriels. **Une forme primitive d'action intentionnelle** pour les mouvements du membre supérieur du fœtus a été mise en évidence. Un pattern cinématique existe, il varie en fonction de l'objectif de l'action (15)(16).

De la 10<sup>e</sup> à la 12<sup>e</sup> semaine, les mouvements spontanés deviennent plus puissants, le fœtus a développé suffisamment de force musculaire pour agiter son corps, bras, mains...il se contorsionne en mouvements nombreux et variés (11). Il est capable de sentir (19).

Au 3<sup>e</sup> mois, une partie du corps se différencie : la tête, le corps mesure à peine 5 cm, les segments de membre sont minuscules, et les doigts se distinguent entre le 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> mois.

Dès la 14<sup>e</sup> semaine, les mouvements des membres supérieurs sont plus lents et plus contrôlés.

Au 4<sup>e</sup> mois, les muscles se développent et accompagnent l'ossification. L'enfant dispose de place pour effectuer ses gestes dans une poche amniotique spacieuse. Des mouvements minutieux de la main sont précoces, les doigts s'écartent et se referment. Les membres, coudes, poignets... vont se tendre et se détendre.

La vie se transforme au fur et à mesure que naissent différentes formes de perception. Le tact est le premier sens à se développer dès 11 semaines au niveau des lèvres et des mains (17).

Le fœtus éprouve des sensations bien avant qu'ait débuté la myélinisation (18).

Vers la 17<sup>e</sup> semaine, les gestes sont moins rapides, mieux coordonnés et précis. Les mouvements de succion du pouce ralentissent. L'exploration de l'autre main, du visage, du cordon, du sexe, des pieds, voire d'un jumeau est observée !!

**En cas de grossesse gémellaire**, l'adaptation aux caractéristiques d'une cible a lieu dès la 14<sup>e</sup> semaine au lieu de 22 semaines normalement. La présence d'un jumeau facilite la tendance à agir par anticipation. A 18 semaines, les mouvements vers l'autre le stimulent et montrent **des signes précoces d'interaction sociale** (15).

Une étude sur des fœtus de 19 à 25 semaines montre des mouvements dirigés vers la bouche pour la moitié d'entre eux. A partir de 20 semaines, l'hémisphère gauche est plus large (19).

Les fœtus de 22 semaines ouvrent la bouche avant de la toucher. **Un comportement d'anticipation** existe donc à nouveau. Les chercheurs suggèrent que les fœtus humains possèdent **une représentation primitive** de la façon dont ils doivent bouger leur main pour rentrer en contact avec la bouche. Il est remarqué qu'un **contrôle moteur sophistiqué existe déjà avant la naissance**. Une trajectoire manuelle vers le visage et des patterns moteurs complexes finalisés comme l'extension du bras vers une cible existe (15).

Au 5<sup>e</sup> mois, vers la 20<sup>e</sup> semaine, le fœtus vit avec son cordon, c'est son premier compagnon de jeu. Il le touche de la main et du bras. « Le système vestibulaire, responsable de l'équilibre fonctionne à partir de 5 mois. La coordination s'améliore au fur et à mesure que le sens du toucher, de l'équilibre et de l'audition se développent » écrit Gombergh (18).

Après la 22<sup>e</sup> semaine, des mesures ont montré une augmentation des mouvements de la main vers l'œil, par rapport à ceux dirigés vers la bouche. La variation de la cinétique du mouvement en fonction de la cible de l'action **montre une capacité primitive de planification, d'anticipation**. Le fœtus atteint un objectif et modifie le profil cinématique pour atteindre une cible de façon plus précise (l'œil). Le fœtus a utilisé les différentes sensations obtenues de la bouche et de l'œil pour adapter sa main vers un des objectifs. De plus il existe une **forme primitive d'action intentionnelle** avec un pattern cinématique qui varie en fonction de l'objectif à atteindre. Les conséquences sensorielles d'un mouvement seraient anticipées (15). ces mouvements observés ont bénéficié d'un apprentissage lié aux **expériences sensorielles** (20).

Le pouce s'oppose à l'index réalisant le geste de pince, un des gestes propres à l'homme, acquis après des millions d'années dans l'évolution de l'espèce. Il a été vu précédemment qu'au fil de l'évolution de l'espèce des nouvelles connexions se sont développées.

A 6 mois, la force musculaire se développe, les mouvements gagnent en coordination, le fœtus est plus agile et adroit. Il tente d'attraper ses jambes. Vers la 30<sup>e</sup> semaine, le pouce et l'index peuvent être refermés sur le cordon, il l'empoigne. Cependant dès le 6<sup>e</sup> mois, les mouvements sont moins amples et fréquents compte tenu de la réduction de place dans l'utérus.

Une autre étude montre une différence de cinématique des gestes entre des enfants à terme et d'autres nés prématurément. Les mouvements dirigés vers l'objet quelques mois après la naissance sont modifiés, et présentent une certaine lenteur pour les enfants nés prématurément (21). Les capacités psychomotrices du fœtus se révèlent avec les études récentes.

« Malgré la césure de la naissance, on constate une indéniable continuité entre la vie postnatale et prénatale »  
R. Gombergh (11).

### **1.3. L'os, charpente du mouvement.**

La structure osseuse est un socle pour le mouvement.

Deux phénomènes essentiels caractérisent l'enfant, ce sont la croissance et la maturation (22).

Aussi petite que soit la main proportionnellement au reste du corps, elle est pourvoyeuse de grandes informations.

Chaque centre d'ossification de la main évolue selon trois périodes maturatives successives : l'auxogenèse (volume de l'os), la morphogenèse (forme de l'os) et la synostogenèse (degré de fusion des épiphyses). Son analyse repose sur l'évaluation de ces 3 paramètres à partir d'une radiographie du poignet et de la main gauche de face. Des atlas référentiels de Sempé et Sapia et de Greulich et Pyle ont permis d'établir des repères chronologiques précis (23).

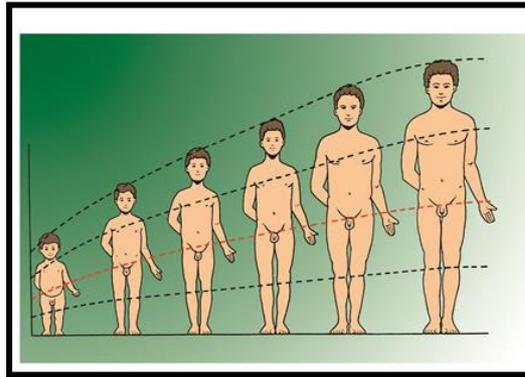


illustration d'olivier Rouan, photo 3.

L'âge osseux de l'enfant, évalué grâce à des courbes staturales de référence de taille permet de donner un pronostic de la taille adulte et renseigne de la maturation de l'os. Il peut être utilisé en orthodontie entre autre (24). L'os de l'enfant est souple et malléable du fait de sa nature cartilagineuse.

Chez l'enfant, il n'y a pas de point d'ossification dans le carpe.

Soumis à la pesanteur, aux contraintes, à la croissance, l'os va se densifier.

La main de nature cartilagineuse va croître jusqu'à 16 ans pour la fille et plus tard pour le garçon, jusqu'à 18 ans. Lorsque les épiphyses sont soudées, il n'y aura plus de croissance des os longs.

Des malformations congénitales telles que l'atrophie congénitale, l'absence de développement d'une partie de bras et d'avant-bras, une main botte, une polydactylie, une syndactylie des doigts, une clinodactylie... ne permettent pas toujours les mêmes possibilités fonctionnelles qu'une main normale, la chirurgie pourra être parfois une suppléance à cela.



Clinodactylie, illustration d'Olivier Rouan

En terme de croissance, le membre supérieur est court jusqu'à l'âge de 5 ans et ne permet pas d'atteindre l'oreille controlatérale. La taille des membres supérieurs a ainsi une incidence sur l'habileté de la main de l'enfant.

De 6 ans à la puberté, l'envergure des membres supérieurs est inférieure à la taille, ils s'égalisent vers 11 ans.

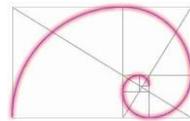
A la puberté, l'envergure peut dépasser la taille de 1 cm pour la fille et 4 cm pour le garçon.

Il peut exister une différence de proportion de taille entre l'index et l'annulaire, entre les garçons et les filles. Dans une proportion significative chez les filles, pour 50 % d'entre elles, l'index va être supérieur à l'annulaire après l'adolescence. Chez le garçon, l'annulaire et l'index sont de taille égal, 30% des hommes adulte auront un annulaire qui dépassent l'index. Il est probable que la croissance de l'annulaire soit influencée par l'activité hormonale (25).



4.

L'os, les réseaux vasculaires, nerveux, et musculo-aponévrotique vont croître de façon harmonieuse.



5.



Kotone et Yiuna

Cependant le développement de l'habileté manuelle dépend en grande partie de la maturation du système nerveux.

#### **1.4. Le développement de la main en lien avec le système nerveux.**

##### **1.4.1. La maturation corticale.**

Compte tenu de la complexité de l'univers cérébral, seules quelques notions fondamentales sont décrites afin d'éclaircir la compréhension sur les commandes motrices de la main.

Le processus de développement du cerveau est spécifique à chaque espèce. L'être humain se caractérise par une grande immaturité cérébrale à la naissance.

Or, la connexion main-cortex est l'objet d'une maturation anatomique et fonctionnelle.

A la naissance, le développement neurologique de l'enfant n'est pas terminé et il va se poursuivre jusqu'à l'âge adulte pour certaines zones.

#### a) Le cerveau.

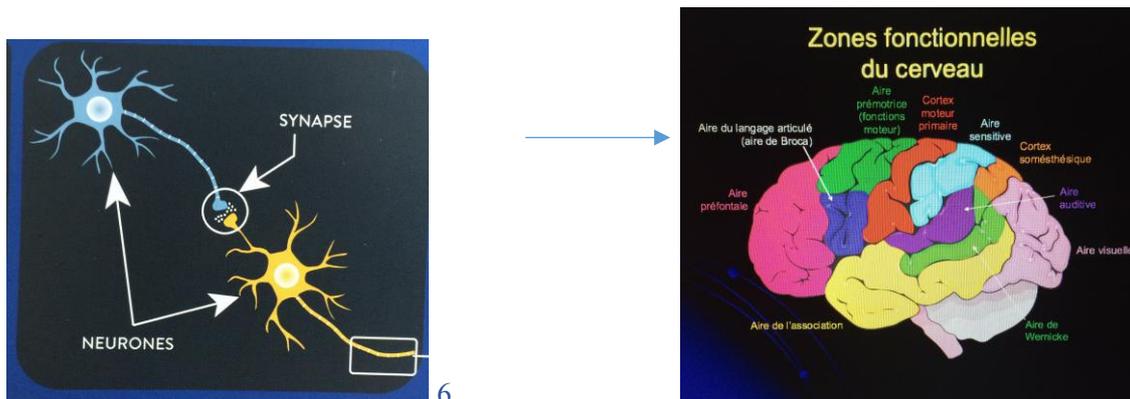
**Le cerveau de l'enfant est immature, fragile, plastique et très malléable.**

Son organisation corticale est génétiquement déterminée. Le développement du cerveau est continu et il se poursuit pendant toute l'enfance et l'adolescence (26).

Le cerveau humain passe de 400 grammes à la naissance à 1200 grammes vers l'âge de 30 ans (27).

100 milliards de cellules nerveuses, 10 milliards de synapses contenues dans le cerveau font passer des informations. Jusqu'à trois ans, les synapses atteignent une densité importante (2 fois plus que l'adulte). Une grande partie du cerveau se forme au cours des cinq premières années de vie (27).

Sa maturation se prolonge jusqu'à l'adolescence et même beaucoup plus tard pour certaines régions du lobe frontal : le cortex orbito-frontal et la partie dorsale du cortex préfrontal (26). Les zones importantes pour le raisonnement, la planification et la communication sociale se développent en dernier (27).



Le cerveau est un **organe de traitement, d'interprétation, d'information, d'anticipation du but, de récompense** (plaisir), **d'interaction avec l'environnement, de mémorisation, de langage et d'humour**. En effet, l'humour a fait partie de l'évolution de l'espèce ! (4).

Le cerveau se réorganise en permanence, se remodèle, par un processus chimique et électrique, les connexions et les réseaux neuronaux s'établissent par l'intermédiaire d'une variété de mécanismes et en fonction des stimulations environnementales. La maturation du cerveau est caractérisée par des périodes de progression et de régression observables (26). L'architecture du cerveau se développe de façon harmonieuse grâce aux soins et aux interactions avec les adultes que recherchent naturellement l'enfant (28).

Le terme de « **plasticité** » signifie que le cerveau est capable de remodelage, de développement, de nouvelles connexions ou de suppressions de circuits sous l'effet des expériences et cela durant toute la vie.

**La particularité de l'enfant** est d'avoir une **plasticité cérébrale beaucoup plus grande** que l'adulte, elle augmente la communication entre les neurones pour le mouvement, le raisonnement et les apprentissages nouveaux et complexes (29).

« Son cerveau réagit spontanément aux choses nouvelles qui lui procurent de l'excitation. L'étonnement procure de la plasticité cérébrale » (20). Les activités, l'expérience et l'environnement modèlent de façon active le cerveau (27).

#### **b) L'organisation neurale.**

Le développement du système nerveux est sous la dépendance de gènes de développement. Plusieurs types ont été décrits : gène du développement précoce, de segmentation et de latéralité... L'interaction entre les gènes de développement et celle de l'expérience structure le développement du cerveau (26).

Ainsi, connaître le développement permet de mieux comprendre aussi certaines malformations.

Les neurones se développent, et une migration de cellules neurales a lieu vers leurs destinations finales. Leurs différenciations débutent in utero et se poursuivent après la naissance. Leur densité neurale adulte est acquise vers l'âge de 6 ans.

Des substances moléculaires guident la progression des neurones où sont produites les cellules cibles pour attirer les axones dans chaque région cérébrale (17), (30). En fonction des stimulations reçues, les neurones vont évoluer en taille, en ramifications. Certaines apparaissent et d'autres disparaissent, les erreurs de destination sont éliminées (20).

A ce grand nombre de neurones est donc corrélé un grand nombre de synapses.

Lors du développement, il y a une surproduction de neurones. Un phénomène de mort cellulaire permet de dégrader les neurones non stimulés. L'apoptose n'est pas seulement programmée de façon génétique, elle dépend aussi de facteurs exogènes. La mort cellulaire et synaptique dépend de l'interaction avec l'environnement. La première année, d'après une étude, la croissance de la matière grise est de 149%, tandis que la matière blanche augmente de 11%. Les hémisphères cérébraux augmentent de 90 % (31). Des études actuelles cherchent à comprendre l'effet de la culture sur les apprentissages (20).

#### **c) La synaptogenèse.**

Jusqu'à trois ans, des ramifications vont croître et des connexions vont se former à une vitesse importante. Au cours de l'enfance et de l'adolescence, le cerveau perd la moitié de ces synapses, il garde les circuits les plus utilisés et élimine les autres. Dès qu'une connexion est inutile, elle est éliminée, remplacée par **élagage neurale** (Goldman 1985)(32). Les axones et les dendrites se forment, l'information circule d'un neurone à l'autre.

Une grande partie du développement et de l'élagage de ses connexions dépend de l'expérience (33).

La synaptogenèse montre cependant une augmentation explosive vers 1 à 2 ans. Elle commence dans les zones du cerveau où sont reçues les informations sensorielles vers 2 ans et se termine où elles sont traitées dans le cortex cérébral frontal, le siège de la pensée. A 4 ans, le réseau débarrassé du superflu est efficace. **La synaptogenèse se poursuit fortement jusqu'à la puberté et régresse, tout en restant présente tout au long de la vie.** Il existe en effet une modification synaptique adaptative qui persiste toute la vie. Celle-ci participe aux changements en réponse à l'environnement. Chaque cellule cible est innervée par de nombreux axones et de nombreuses synapses.

**Par spécialisation progressive,** les neurones diminuent le nombre de leurs sites cibles, avec en corollaire le nombre de synapses.

Pour les zones frontales, la densité synaptique est maximale vers 12 mois, elle va décroître en raison d'une spécialisation de plus en plus importante. L'information circule d'un neurone à l'autre.

Les dendrites se développent tout au long de la vie tant qu'il y a de l'apprentissage.

#### **d) La myélinisation.**

La croissance cérébrale continue jusqu'aux vingt premières années alors que la myélinisation progresse surtout au niveau des hémisphères, cela permet les acquisitions psychomotrices.

La myélinisation se forme selon des séquences spécifiques. Ce processus permet d'accélérer la transmission électrique neuronale et l'efficacité du traitement d'informations. Elle se produit à différents moments dans plusieurs régions du cerveau, jusqu'à la fin de l'adolescence. Chez les garçons, le volume de myéline augmente fortement à cette période (27), (29).

Le degré de myélinisation augmente les trois premières années, jusqu'à atteindre un maximum. A l'âge de 3 ans, toutes les structures de la moelle épinière, les nerfs crâniens et périphériques, les voies afférentes et efférentes, les connexions relatives aux sens et à la coordination ainsi qu'une grande partie des voies longues et courtes d'association sont bien myélinisées. Elle commence en périphérie et se poursuit au niveau du système nerveux central, progresse toujours dans la même direction, dans le sens des voies, vers le cerveau pour les voies sensitives, et à partir du cerveau pour les voies motrices. La myélinisation débute par le cortex sensorimoteur et se termine par l'aire orbito-frontale en fin d'adolescence. La myélinisation n'atteindra son apogée qu'après l'âge de 20 ans (29, 17, 33, 26).

**Les aires associatives corticales continueront leur maturation jusqu'à l'âge adulte (34).**

La synaptogenèse ainsi que la myélogénèse se développent ainsi, favorisées par les stimulations diverses.

#### **e) L'affectivité.**

D'après une synthèse d'articles de recherches décrits par Dr Guéguen, les neurosciences affectives amènent quelques données fondamentales. Devant des émotions, l'enfant n'a pas de filtre de contrôle car le cortex préfrontal est immature.

L'apprentissage, les expériences affectives et sociales ont des effets profonds sur les structures, les circuits et sur l'expression de certains gènes selon des données récentes.

Les neurotransmetteurs font passer l'influx nerveux d'un neurone à l'autre. Des connexions neurales, la prolifération et la migration des précurseurs gliaux, la différenciation en astrocytes et oligodendrocytes se réalisent au cours des premières années de la vie. En fonction des relations affectives, des expériences libres de l'enfant et de l'apprentissage, l'harmonie du développement se manifeste (35).

L'activité neuronale est en effet favorisée par **l'interaction avec l'environnement**.

Déjà les théories d'attachement décrites par Bowlby en 1969 parlaient de l'environnement sûr (36) . D'après Décety, la confiance et l'empathie constituent un terreau conditionnant tout potentiel de croissance (37)(38).

L'attachement sécurisant diminue sa sensibilité au stress de l'hippocampe nécessaire à la mémorisation. Une attitude encourageante permet d'augmenter son volume (39). L'émotion a aussi un rôle prépondérant dans les décisions, les réflexions et l'apprentissage (40). Le stress influence l'architecture du cerveau, il peut perturber la mémoire, la régulation des émotions et de l'attention (Megan R. et al, 2009).

Les premières années de la vie de l'enfant sont fondamentales. Le développement affectif, émotionnel, l'épanouissement relationnel et intellectuel participent à la psychomotricité de l'enfant.

#### **f) La période sensible.**

La période critique ou sensible est une phase particulière du développement durant laquelle l'organisme présente une sensibilité spécifique à certains types de stimulations. Cette sensibilité n'est pas aussi marquée en dehors de cette période. C'est une période spécifique, innée durant laquelle certains développements ont lieu. C'est une phase de grande plasticité fonctionnelle, anatomique, biochimique cérébrale. Il existe une période sensible pour la vision, (un enfant non stimulé pendant cette période peut devenir amblyope), l'apprentissage des langues, les mathématiques, la marche... Toutes les facultés ne s'activent pas en même temps, certaines se développent après des mois, voire des années, par interaction, par des processus complexes et systémiques.

Pendant cette période, la stimulation et la structure façonnent le système nerveux, des anomalies peuvent être induites. Toute perturbation est susceptible d'interférer avec le développement du système et des aires corticales, de les modifier voire de les altérer. L'hérédité détermine le nouveau-né, sous l'effet d'une sensibilité, d'impulsions périodiques, l'épigénétique pourra la modifier (41).

Le cerveau est composé de différentes parties qui se développent à des rythmes différents. Aussi, la spécification des aires cérébrales est liée à ses stimulations neuronales.

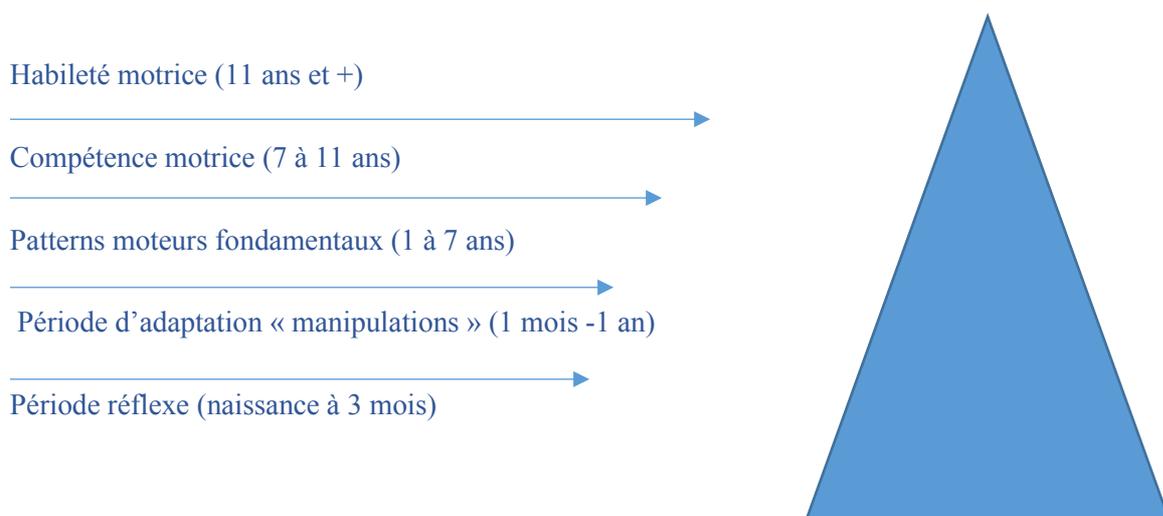
Ainsi, il existe des capacités d'apprentissages tout au long de la vie, avec des périodes sensibles plus favorables pour certains apprentissages (32) (42).

Ces changements anatomiques entraînent des modifications de comportements (26). Des corrélations entre le développement du cerveau et les fonctions cognitives existent.

Pour M. Montessori, la période sensible est une époque de croissance pendant laquelle les apprentissages se font sans effort, avec une joie manifeste de l'enfant (43)(44).

L'enfant se construit progressivement un répertoire de gestes acquis grâce à la répétition (habituation) et à la confrontation avec de nouvelles stimulations sensorielles, à des situations nouvelles (20).

La progression motrice peut être simplifiée par un schéma inspiré du livre «Motorlearning and development, page 49 (de J.E Clark et J.M Metcalfe) (45).



#### 1.4.2. Les systèmes de commande motrice.

Sorti d'un environnement fluide et de la barrière utérine, le nourrisson va franchir la période néonatale très vite pour devenir un enfant capable d'intention, de volonté, d'électivité et de mobilité.

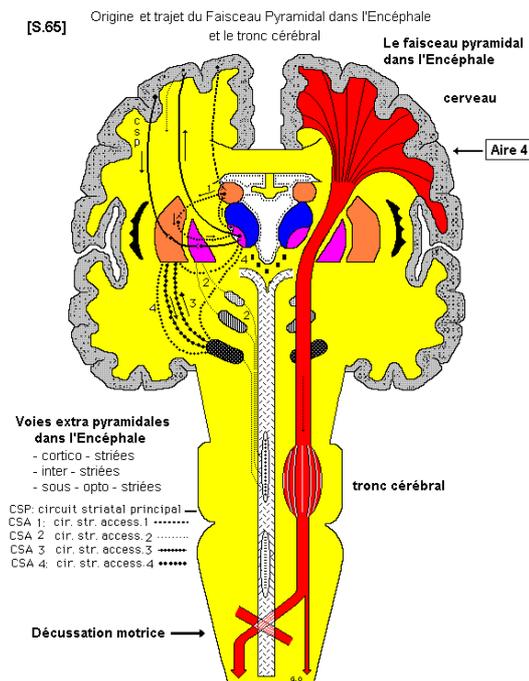
Les bébés par leurs composantes motivationnelles fortes (16) vont percevoir et s'adapter à de nouvelles tâches dans le but de contrôler leurs mouvements. C'est aussi pour le plaisir de la découverte que l'enfant éveille ses sens.

Dès la naissance, les aptitudes innées du nouveau-né permettent d'entrer en relation avec le monde extérieur : il voit, il entend, il sent, il bouge, a un certain éveil, il pleure et est consolable. Cependant, la vision est un sens encore immature. Les recherches actuelles mettent en relief l'importance de la stimulation, de l'environnement. Des études sont en cours sur l'apprentissage et la culture (20). Asie, Afrique, Amérique, les cultures différentes induisent des comportements variés.

**L'enfant naît avec trois types de coordination motrice : les réflexes, les mouvements spontanés à caractère rythmique et les boucles sensorimotrices élémentaires (7).**

La maturation du cortex, nous l'avons souligné n'est pas encore terminée à la naissance, ce qui explique l'existence des réflexes archaïques primaires ; l'activité sous-corticale peut être prépondérante jusqu'à deux mois, elle deviendra corticale plus tard. Le système sous-cortical gère les fonctions primaires : respiration, alimentation, les fonctions physiologiques essentielles, il a fonction de déclencher les comportements instinctifs de survie, l'activité motrice réflexe, les réflexes posturaux, les réflexes d'équilibre.

**Deux systèmes de commande motrice coexistent : le tronc cérébral (inférieur) et les hémisphères cérébraux (supérieur). Les hémisphères comprennent de façon simplifiée le cortex sensoriel, le cortex d'association et le cortex moteur.**



5.

Le cerveau moteur peut être divisé en deux voies :

**\*la voie sous cortico-spinale (extrapyramidale) :** elle est issue du tronc cérébral. Archaïque dans l'évolution, cette voie agit sur le **tonus postural de l'axe corporel**, la flexion des 4 membres, **la préparation et le réglage des mouvements fins par ses connexions avec le cervelet.**

**\*la voie cortico-spinale (pyramidale)** : le système pyramidal par le jeu des influences inhibitrices et excitatrices sur le motoneurone contribue **au tonus postural et a un rôle prépondérant dans la motricité volontaire**. Elle a un rôle dans l'exécution des mouvements indépendants des doigts, dans la précision et la vitesse de manipulation. Elle va inhiber les réflexes primaires (34). Cette voie est plus tardive, sa maturation a lieu entre 32 semaines de gestation et l'âge de 2 ans. De direction descendante vers la moelle épinière, elle se développe jusqu'à l'âge de 12 ans (34).

D'après Lécuyer, l'âge de deux mois marque le passage d'actions pré-adaptées (réflexes) à un système d'actions volontaires plus contrôlées. Le passage du contrôle des actions motrices sous-corticales aux actions motrices corticales serait possible grâce à l'inhibition du système sous-cortical, celui-ci supprime des comportements préexistants. Pendant ces périodes de transition il existe une chute des performances (16).

### **1.4.3. La description des réflexes archaïques concernant la main.**

Les réflexes peuvent être considérés comme des rudiments de la phylogenèse (46). Ils sont régulés par un mécanisme réflexe spinal, à partir des interneurons spinaux qui contrôlent la régulation des aires motrices non primitives.

Les réflexes primitifs sont des modèles stéréotypés et peuvent être obtenus par des stimulations sensorielles spécifiques.

Les réflexes archaïques ou primaires existent chez le nouveau-né à terme. Un certain nombre se sont présents dès les premiers jours de la vie. **Ils sont physiologiques les premiers mois, leur présence est le signe d'intégrité du système nerveux dans les premières semaines**. Ce sont des mouvements automatiques complexes (34), des schémas moteurs universels et ils correspondent à une certaine immaturité du cerveau (le cortex frontal). Leur origine sous-corticale est le tronc cérébral et ils débutent à la 16<sup>e</sup> semaine de gestation (46). La motricité réflexe est économe, elle ne nécessite pas de réflexion, de mentalisation et d'élaboration.

Les **acquis archaïques sont innés**. Les mouvements de l'enfant sont involontaires. Les réflexes sont présents à droite et à gauche du corps. Cependant, une étude montre qu'il existe dès la naissance une différence d'intensité du grasping entre les deux mains. Du côté le plus tonique, il deviendra à l'âge adulte sa main dominante (47). Leur inhibition progressive est le signe d'une évolution normale. Ces réflexes sont inhibés cependant, ils ne disparaissent pas.

En cas de lésion du lobe frontal, ils pourront réapparaître (46).

Lorsque le cortex cérébral est suffisamment mature anatomiquement et fonctionnellement, le fonctionnement cérébral va passer rapidement sous le contrôle des structures supérieures qui prennent alors le relais. L'enfant acquiert dès lors des stratégies motrices plus élaborées et plus conscientes.

Cette maturation va se dérouler pendant des mois, la date d'inhibition des réflexes primaires est variable, elle a lieu souvent dans les trois premiers mois. A partir de 6 mois, la plupart des réflexes ont disparu, le réflexe asymétrique du cou peut persister jusqu'à 9 mois écrivait Sainte Anne Dargassie (34).

**Les réflexes en lien avec la main sont :** le réflexe asymétrique du cou, le réflexe de grasping, le réflexe paume-bouche de Babkin, le réflexe de Moro.

#### a) Le grasping.

A la naissance, au niveau de la main, **le réflexe d'agrippement (grasping reflex) domine**. Ce réflexe de préhension peut être mis en évidence en glissant dans la main du nouveau-né un objet ou un doigt, on observe alors une fermeture des doigts très ferme sur l'objet. La contraction des fléchisseurs se prolonge pendant toute la durée de la stimulation. Puis les doigts vont se desserrer (48).



Adèle dix jours

Chez le nourrisson de 3 mois, la stimulation de la face dorsale des doigts de la main encore fermée, ouvre les doigts. Il subsiste jusqu'à la préhension, l'enfant saisit les objets sans la vue, au seul contact de l'objet (49).

#### b) Le réflexe asymétrique du cou, c'est la position de l'escrimeur.

La flexion d'un bras, entraîne l'extension de l'autre, ce réflexe est asymétrique. Lorsque la tête tourne d'un côté (pour regarder quelque chose par exemple), le bras et la jambe du même côté se tendent, tandis que ceux du côté opposé se plient. En théorie, ce réflexe disparaît lorsque l'enfant commence à marcher à quatre-pattes



8.



Adèle

Ce réflexe lui permet de découvrir sa main pour la première fois. (50).

### c) Le réflexe de Moro :

Il est présent dès la naissance. Il est provoqué soit par un bruit ou soit par une sensation de chute de façon bilatérale. Dans un premier temps, il existe une extension des membres supérieurs avec une ouverture des doigts puis il existe un phénomène d'embrassement où les bras reviennent en semi-flexion et le poing se referme sur le pouce. Ce réflexe est vif, mal contrôlé. D'après une étude, il serait plus fort à droite du côté de la main préférée (47).

Après 3 mois, seul le premier temps d'extension des membres supérieurs persisterait.

### d) Le réflexe paume-bouche, de la main à la bouche, de Babkin :

La caresse d'une des paumes entraîne un mouvement du poing vers la bouche, une rotation latérale de la tête et l'ouverture de la bouche. Ce réflexe met en action le poing ou ses doigts. Il y a un caractère très précoce de **la coordination main-bouche**. L'enfant porte les objets à la bouche par réflexe avant de le faire volontairement. Il développe le schéma moteur fondamental du bras et porte la main vers le visage.

« Avant tout apprentissage, des conduites réflexes et automatiques sont présentes » (51).

#### 1.4.4. L'organisation motrice et ses rétrocontrôles sensoriels.

Par **rétrocontrôles sensoriels (feedback)**, les informations somesthésiques (cutanées, proprioceptives), vestibulaires, auditives, visuelles arrivent et agissent sur le cortex moteur. Celui-ci reçoit de nombreuses informations à partir du thalamus, central dans la réception des informations sensorielles. Les zones cérébrales associées aux fonctions sensorielles primaires et sensorimotrices semblent être fortement affectées par des facteurs génétiques au début du développement et influencées par des facteurs environnementaux plus tard (33).

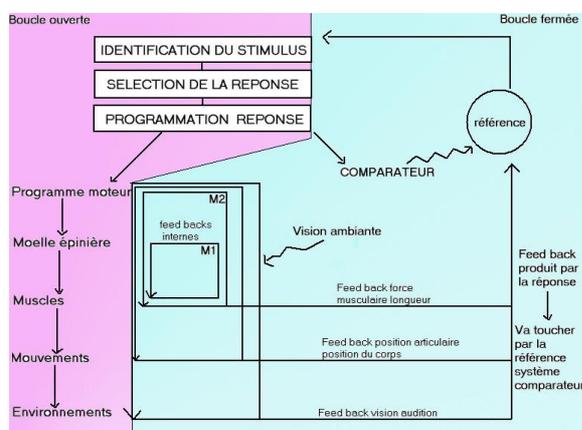


Photo 7



#### 1.4.4.1. L'intégration sensorielle dans le développement des habiletés manuelles.

« Les capacités sensibles et sensorielles apparaissent tôt in utero et à 6 mois et 2 semaines de grossesse, les organes sensoriels sont tous opérationnels et l'audition est le sens le plus mature » écrivait Sempé (22). La maturation de la vision se poursuit après la naissance.

Dès sa venue au monde l'enfant commence à interagir avec l'environnement, les périodes d'allaitement, la toilette, peau à peau, les échanges de regard créent un bain sensoriel.

Le goût, l'olfaction, le toucher, la vision et l'audition vont être stimulés. La mère canalise l'attention et fournit des situations d'apprentissage (52).



Moise, 12mois

#### Très vite l'environnement crée un milieu stimulant.

« La perception sensorielle nécessite d'unifier les informations et les perceptions du monde environnant. Elle passe par une intégration des expériences sensorielles, et l'utilisation du vécu de l'enfant est un outil important. Toutes les activités de la vie quotidienne (repas, bain, habillage) sont des sources d'apprentissages multisensoriels » (53) .

Les sens jouent en effet un rôle essentiel dans la période initiale de la vie. Des études ont montré que les bébés dès la naissance perçoivent des éléments dans l'environnement, ils les mémorisent, se les représentent et combinent les données provenant des différents systèmes perceptifs sous un **aspect multimodal** (52). Cet environnement neurosensoriel imprègne peu à peu le cerveau de l'enfant. Aux informations multimodales, une perception du nourrisson aussi multimodale se crée. Des formes de représentations seraient élaborées avant la naissance et dès la naissance.

Cependant, ces systèmes sensoriels ne sont pas coordonnés à la naissance, ils commencent à s'organiser progressivement (52) . « Dès la naissance, la quantité et la qualité des expériences sensorielles ont une influence directe sur la création des capacités motrices, à réfléchir et à raisonner » écrit M. Mazeau (54).

Les flux sensoriels amènent des feedbacks permanents au niveau cortical. Il existe une sorte de processus continu dans le cerveau qui contrôle, reçoit, coordonne et classe les données extérieures. Stimulé par de multiples informations sensorielles, sons, images, sensations et odeurs ...l'enfant découvre des sensations nouvelles. D'après Dehaene, les bébés peuvent apprendre vite et de manière purement perceptive ils sont capables d'apprentissages relativement complexes.

A 3 mois, ils ont des réactions à la nouveauté devant des figures géométriques. Leur attitude spontanée face à un environnement nouveau consiste à apprendre. L'**habituatio**n permet à l'enfant d'apprendre de son environnement, cela met en évidence ses capacités perceptives et cognitives précoces (16).

Dans le développement des habiletés manuelles, l'apport sensoriel comprend surtout le toucher, la vision et l'audition. Le goût et l'odorat interviennent peu et ne sont de ce fait pas développés dans cet exposé. « Les patterns de préhension adaptés et flexibles sont le fruit d'un long apprentissage impliquant de nombreuses répétitions perceptivo-motrices » (55).

La perception par la vue, l'audition et le toucher jouent un rôle important pour le développement de la main et sont perçues de façon consciente. D'autres sens captent les informations de façon moins consciente : le système vestibulaire et la proprioception.

**Pour les systèmes sensoriels tels que la vision, le toucher et l'audition, il existe un modèle d'organisation identique (32).**

En effet, la construction de l'information sensorielle sous-tend une organisation fonctionnelle hiérarchiquement distribuée.

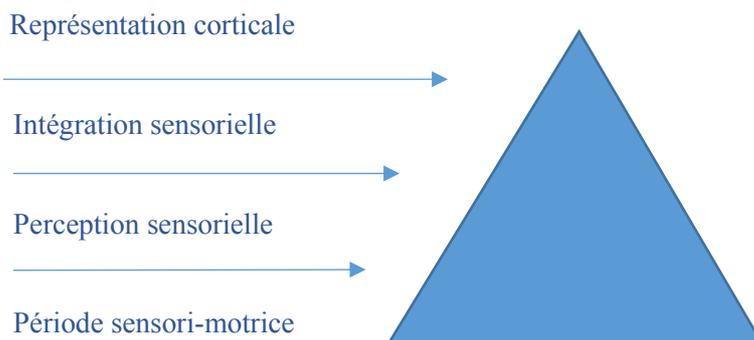


Schéma inspiré des travaux de Ayres.

Les définitions de ces quelques termes peuvent éclairer sur cette organisation hiérarchique.

« La perception est considérée comme une activité cognitive dont la fonction majeure est le recueil d'informations nécessaires au sujet percevant, dont un certain nombre sont utilisées, immédiatement ou après stockage » écrivent Durand et Lécuyer (52).

**La répétition des expériences**, la sommation, la maturation entraînent une modification des structures neuronales.



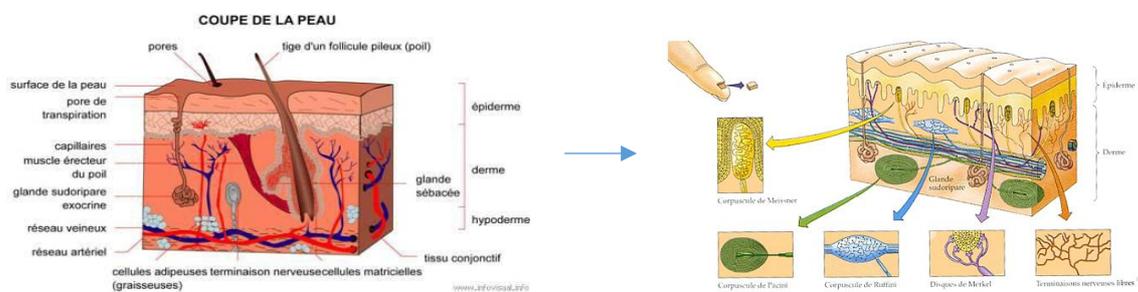
proprioceptives décrites par Sherrington, recueillent des informations au niveau de la peau et des organes musculo-squelettiques.

Première modalité de communication non verbale, le toucher est très utilisé par l'enfant dans ses premières années. La connaissance du monde environnant et de soi passe par lui. Son interface est la peau. Par sa structure et sa fonction, la peau est plus qu'un organe, c'est un ensemble d'organes. Sa complexité anatomique, structurelle et physiologique la relie aussi au psychisme.

« Le moi peau » décrit par D. Anzieu rappelle sa capacité à structurer psychiquement l'individu (56).

La sensibilité peut être objectivée par une réponse. Cependant, les bilans de sensibilité ne seront pas possibles chez l'enfant de bas âge compte-tenu de l'imaturité d'expression et de perception.

- **Les récepteurs cutanés** captent les informations et les envoient au cerveau (57).



photos 12 et 13.

-**Les terminaisons libres** : elles assurent la protection et sont sensibles aux stimuli douloureux, aux changements de **température**, et à la **piqûre** (aux **stimulations tactiles grossières**).

-**Les corpuscules de Meissner**, ce sont des mécanorécepteurs à adaptation rapide, près de la surface de la peau. Ils permettent une grande partie de la sensibilité mécanique de la main, ils sont **sensibles aux mouvements et aux vibrations de basse fréquence**. La main détecte par sa texture un objet qui glisse grâce à une rétroaction envoyée par les récepteurs. Cela est indispensable au contrôle des mouvements de saisie.

-**Les disques de Merkel** : ce sont des mécanorécepteurs à adaptations lentes qui communiquent avec des fibres myélinisées de gros diamètre. Situés dans la couche basale de l'épiderme, ils sont **sensibles à la pression, au toucher léger**. Ils sont aptes à **capter la forme, les bords et la texture des objets**.

-**Les corpuscules de Pacini** : ils sont situés dans la profondeur du derme, dans les tissus sous-cutanés. Leur sensibilité nerveuse est activée par les **vibrations de haute fréquence**, supérieures à 100hz. Ce sont les plus sensibles. Les récepteurs détectent les vibrations transmises par des objets tenus en mains ou au contact de la main (**ceci permet de manier une clé, d'écrire**).

« **La sensibilité s'éduque et se rééduque**, elle est perfectible par un entraînement particulier. L'entraînement sensitif permet au système nerveux d'utiliser des informations jusqu'à la inexploitées. Il ne modifie pas la qualité, ni la densité de récupération des unités sensorielles. Les conditions d'apprentissage peuvent conduire à une adaptation du schéma corporel optimale » écrit N. Basset (57).

Les enfants durant les premières semaines de vie utilisent tôt leurs doigts. Ils effectuent des mouvements pour explorer les nouveaux stimuli sensoriels en contact avec leurs mains. Les nouveau-nés présentent une sensibilité très précoce, cela se vérifie dans la caresse, les réactions à ce qui est doux, souple et tiède. Le nourrisson réagit aux stimulations tactiles et nociceptives par des réflexes. **La paume de la main est une des zones les plus sensibles à la stimulation cutanée.**

L'expérience manuelle de la succion (pouce, doigts) et le passage à la bouche des objets amenés manuellement, d'abord de façon réflexe, deviennent ensuite volontaires au cours du premier mois.



Adèle, cinq mois



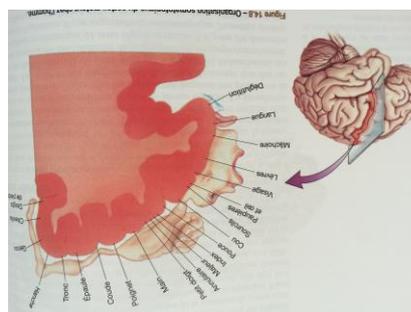
Noémie, Trois ans et demi

La bouche et le pouce restent secondairement un support dans l'affectivité de l'enfant.



Anaïs, 18mois

**La bouche et les mains occupent la plus grande zone corticale de projection sensorimotrice.**



Livres Neurosciences page 430-432 (32).

Photos 14 et 15.

La sensibilité tactile des doigts se développe et va supplanter l'exploration de la bouche. **L'enfant touche, palpe, frotte, serre les objets** alors que précédemment il les mettait à la bouche. L'objet mis à la bouche permet déjà à l'enfant de connaître l'objet.

**Le toucher permet une analyse, une comparaison et la prise de connaissance des propriétés des objets.** Il favorise **le mouvement** et la progression.

Dans sa soif de découvertes, l'enfant peut appréhender grâce **au tact des formes, des mouvements, des textures, des matières chaudes et froides, le poids.**

De nombreux effets sont recherchés au cours du contact avec les objets. De nouvelles formes d'activités répétitives s'ajoutent aux anciennes. Un apprentissage peut modifier la densité d'innervation et la taille des champs de récepteurs.

Une liaison étroite entre la vision et le toucher est présente dans les premiers mois de la vie.

Vers deux-trois mois, l'information peut être transférée du toucher vers la vision.

Dans les trois premiers mois, le nourrisson peut transposer des informations visuelles dans le registre tactile ou reconnaître des objets manipulés visuellement par traitement perceptif multimodal (20). Cette **coordination visuo-manuelle se met en place après 4 mois** (16).

A 5 mois, le nourrisson reconnaît tactilement ce qu'il a vu, mais pas visuellement ce qu'il a touché (20). Le contrôle de la motricité du bras permet un contact tactile avec l'objet et une prise d'informations de la texture, de la forme et de la température. **La préhension des objets coordonne aussi le tactile et le visuel.** Les capacités de discriminations s'améliorent.

**Au second trimestre, les nouveau-nés deviennent des « touche-à-tout ».**

Le toucher est le sens le plus apte à remplacer une vision défaillante pour la prise de conscience des propriétés des objets.

### **La douleur chez l'enfant :**

La douleur est une expérience sensorielle partagée par l'ensemble de l'humanité.

Elle s'exprime de façon très variable selon les peuples et les cultures ainsi que d'un enfant à l'autre. Elle peut se manifester dès les premiers jours. La sensibilité à la douleur repose sur un réseau complexe de neurones qui transporte l'information depuis les récepteurs vers la moelle épinière, le tronc cérébral en passant par le thalamus et les différentes aires corticales.

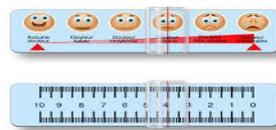
Sa prise en charge sur le plan médical chez l'enfant date des années 80, elle a évolué dans les années 2000. **La détermination de la douleur est différente chez l'enfant, il n'a pas la capacité de verbaliser sa**

**sensation et le système est immature la première année.** L'interprétation du signal douloureux se développe au cours du temps et des expériences de vie de l'enfant. Les indicateurs comportementaux sont des indices pour la détecter.

(L'échelle de San Salvador est adaptée pour les polyhandicapés par exemple).

**Les mécanismes inhibiteurs de la transmission des stimulations nociceptives sont immatures à la naissance.** A 7 -8 mois, l'enfant commence à sentir la douleur, il regarde à l'endroit où il est pincé et vers 12 mois, il désigne, il met la main où il a mal. Pendant cette période sensible, une diminution des seuils de douleur est observée, contrastant avec une augmentation des réponses.

Plusieurs arguments parlent d'une hypersensibilité du nouveau-né à la douleur.



Echelle de douleur, Photos 10

Une douleur non traitée, répétée et prolongée pendant la période infantile peut avoir des effets de longue durée sur le développement physique et social de l'enfant et peut causer des changements permanents du système nerveux. Elles peuvent favoriser des expériences douloureuses futures (58)(59)(60).

D'après des travaux récents, le massage est recommandé pour les enfants, car il est pourvoyeur d'ocytocine, hormone de bien-être sécrétée par la posthypophyse, il contribue à une prise de poids plus rapide chez un enfant prématuré, il a des effets sur la croissance de l'enfant, sur le stress, sur la douleur et éveille le schéma corporel (61)(62)(20).

### **Le développement de la proprioception.**

Les liens entre la proprioception et la peau ont souvent été abordés dans la littérature (53).

La proprioception ou perception de son corps est la modalité la plus importante dans l'élaboration du schéma corporel. Dès qu'elle est fonctionnelle, elle permet de différencier ce qui est le corps propre et ce qui ne l'est pas (52). Elle contribue à la connaissance des parties du corps, renseigne sur sa position dans l'espace et leurs mouvements.

Grâce à ses récepteurs localisés dans les muscles, les tendons, et les articulations, elle informe le cerveau sur l'activité et la position spatiale de toutes les parties du corps. Elle contribue à la conscience de soi et au schéma corporel. Grâce à elle, l'enfant peut ressentir ses mouvements et créer des gestes précis. La proprioception peut être améliorée par l'apprentissage.

**La perception haptique** rassemble la **perception tactile et la proprioception**, elle est inséparable d'une activité motrice (52).

**La proprioception mature tardivement au cours de l'enfance et de l'adolescence**, elle participe à la précision et à la variabilité de la performance. Il existe une maturation tardive de l'intégration proprioceptive au service du contrôle postural (63).

**Ce n'est qu'à partir de 2 ans que le système proprioceptif est considéré comme efficient.**

L'œil dans les premières années de vie est prépondérant (53).

**De 2 à 6 ans, la maturation du système nerveux central est continue, à un rythme plus lent.** La vitesse et la précision du mouvement vont augmenter (34).

**Chez l'adolescent**, des études ont rapporté **une négligence transitoire des informations proprioceptives au profit d'une prédominance des informations visuelles** (53).

#### **b) Le système visuel.**



Photo 17

La vision est un sens en pleine évolution durant toute la croissance.

Dès la naissance, c'est un moteur de communication car l'enfant établit le contact par le regard. L'œil fournit des informations sur notre environnement, il a une importance primordiale dans différents aspects de notre vie quotidienne.

Maturation anatomique, sensorielle et fonctionnelle des structures périphériques et centrales vont permettre à l'enfant d'acquérir une image nette, de percevoir les couleurs, les contrastes, les reliefs, la profondeur, les textures et les mouvements... La sensibilité au contraste et à l'acuité sont matures vers 5 ans et la croissance de l'œil est terminée vers 3 ans (65).

Le champ visuel et l'acuité visuelle augmentent au cours de l'enfance.

Le développement sensorimoteur de l'œil permet le développement de la perception visuelle. Le système visuel comporte plusieurs contrôles cortical et sous-cortical, chacun joue un rôle dans le traitement d'aspects spécifiques de l'information visuelle (65).

La vision des nouveau-nés est principalement contrôlée par le système sous-cortical et le cortex commence sa maturation deux mois après la naissance. Le système sous-cortical permet au nouveau-né une orientation limitée, dans l'axe médian jusqu'à 3 mois, les regards s'échangent dans la ligne médiane les premières semaines car le champ visuel est rétréci.

L'enfant a une préférence pour les damiers, les motifs blancs et noirs, structurés avec des angles (65) (53). D'après les expériences de Fantz, l'enfant est capable de différencier deux figures géométriques différentes, il regarde préférentiellement celui qui est structuré.

Dès deux mois, l'enfant voit et réalise que l'objet est caché.

A l'âge de trois mois, le contrôle cortical des mouvements oculaires et de la tête va rendre possible l'attention visuelle. C'est l'âge où il découvre sa main. Les mouvements oculaires sont pour la plupart coordonnés. La coordination œil-céphalique, visuo-manuelle, oculo-céphalo-posturale se structurent progressivement. L'enfant est attiré vers les objets blancs et noirs, et colorés (jaune, rouge).

D'après Young Thomas une multitude de couleurs sont perçues à partir de 3 types de récepteurs, à condition que l'œil soit stimulé (32).

L'enfant est capable de regarder des petits objets, la recherche visuelle commence, le nourrisson commence à associer les stimuli visuels à un événement. Les yeux sont aussi responsables du champ visuel attentionnel et de la vision en relief.

A 5 mois, le nourrisson est capable de regarder un objet dans ses mains, il devient conscient de l'environnement, il peut alterner un regard proche et lointain. Le mouvement oculaire pas toujours coordonné, s'améliore, et l'enfant scrute visuellement les objets proches de lui, il peut maintenant se servir de la convergence oculaire. La coordination visuo-manuelle se développe et l'enfant commence à guider le mouvement de la main (65).

L'observation est un mode d'apprentissage utilisé dès le plus jeune âge.

« Le bébé regarde plus longtemps ce qui est nouveau par rapport à ce qui ne l'est pas » écrivent Stéri et Lécuyer (49) (52).

L'œil participe aussi à l'équilibre, au contrôle postural.

« Quand la main parle à l'œil, leur langage est l'espace » Bullinger (50).

Entre 6 et 9 mois, l'enfant repère des objets situés à proximité, regarde les visages et les différencie. **La vision stimule et contrôle le mouvement vers l'objet convoité** (65) et a un rôle important lorsque l'enfant prépare et module sa réponse à l'avance pour atteindre des objets de forme variée. L'enfant anticipe la taille, l'orientation et la texture de l'objet (65).

« Le regard anticipe et guide l'action » écrit Berthoz.

Vers 2 ans, la myélinisation du nerf optique est achevée, les habiletés optiques se sont coordonnées, l'enfant reproduit les mouvements par **imitation**. L'œil permet l'apprentissage grâce aux neurones miroirs et à la reconnaissance des gestes. Il peut classer les objets en fonction d'une seule propriété et désigne avec son doigt les images d'un livre (couleur, forme) (65).

A 3 ans, l'enfant grâce à sa mémoire visuelle peut réaliser des jeux d'encastrement et mettre des chevilles dans un trou (65).

De 2 à 5 ans, les fonctions du cerveau fournissent un traitement sensoriel proche de celui de l'adulte.

Les aspects perceptifs et gnosiques de l'œil permettent une perception visuelle, une discrimination visuelle et une reconnaissance des objets.

De 5 à 7 ans, la myélinisation des structures et la création de synapses se poursuivent. Une phase d'élagage aura lieu à la puberté. Avec la maturation du cortex préfrontal, la perception des scènes visuelles complexes pourra avoir lieu. L'œil permet la construction spatiale.

D'après Ramachandran, « la vision ne se produit en effet pas dans l'œil, mais dans le cerveau. Une trentaine d'aires visuelles et visuo-motrices sophistiquées permet une image nette et cohérente » (4).

Une partie importante du cortex est consacrée au traitement visuel (65).

L'image sur la rétine, la lumière à partir de photorécepteurs est transmise par des connexions neuronales jusqu'au nerf optique pour terminer dans les structures cérébrales. Trois voies visuelles existent et permettent de percevoir les formes, les contours, les ombres, les aspects spatiaux d'un objet nécessaires à la localisation, les mouvements, les visages (4, 65).

Des régions particulières du cerveau traitent uniquement la reconnaissance des visages, et d'autres la reconnaissance des objets. Les scènes visuelles complexes, les objets et les visages particuliers seront perçus plus tard (65).

Le développement de la capacité à prédire les intentions d'autrui continue à se développer et permet à l'enfant d'apprendre par imitation.

Plus tard, les trajectoires prévues, le déroulement des faits dans le temps et l'espace deviennent programmés et ils conduisent à des formes d'imagerie mentale et d'abstraction nécessaires à la création de l'Art. L'œil permet aussi des encodages symboliques.

L'expérience visuelle est essentielle pour que l'œil se développe harmonieusement. Grâce aux stimulations, des cartes corticales se créent.

### c) Le système auditif.



Photo 17 bis

La fonction auditive comme tous les sens permet de percevoir le monde extérieur et d'accéder à l'information, à la communication et à l'apprentissage par l'écoute des données.

L'audition est un sens fonctionnel avant la naissance et est étroitement liée au langage. Il existe une continuité transnatale (16, 67).

Les stimulations sonores ont un rôle pour les fonctions d'alerte et d'orientation et peuvent être utiles à l'orientation de la main.

Sans le regard, l'oreille nous guide. A 1 mois, l'enfant réagit aux bruits forts. La source sonore entraîne une orientation du regard dans cette zone. Il existe une coordination auditivo-visuelle.

Vers 3 mois, le nourrisson oriente la tête vers un son produit, met en mouvement un objet bruyant. Il a beaucoup de plaisir à faire du bruit, il répète ces actions. Il prend parfois un objet dans chaque main et les frappe l'un contre l'autre. Le son procure aussi une notion de rythme.

Puis, il va apprendre à contrôler et à adapter ses réponses au bruit. Cela représente une étape de plus vers la compréhension et le contrôle de son environnement.

L'ouïe est un outil **dans la stéréo localisation**. L'enfant peut être sensible à l'origine du son dans l'espace et peut détecter la localisation du son à partir de 8 mois. La réponse à de simples sons est **mature** vers 18 ans (67).

**Le système vestibulaire** situé dans l'oreille interne est rattaché à l'audition, sa maturation a lieu dès 5 mois de gestation. Lorsque sa tête bouge, le fœtus reçoit des informations par ses autres canaux sensoriels. Il contribue à la coordination des mouvements de l'œil et des deux côtés du corps. Qu'ils s'agissent de mouvements haut/bas, avant/arrière, droite/gauche, l'enfant connaît la situation de son corps dans l'espace grâce au système vestibulaire. Celui-ci influe sur le tonus musculaire de l'ensemble du corps, l'équilibre et la représentation du corps dans l'espace. Des informations supplémentaires sur le monde extérieur permettent à l'enfant une maîtrise de l'espace. Il organise ainsi ses mouvements et participe à l'acquisition des capacités

motrices et posturales. Le système vestibulaire est un support pour la posture avec la vue, le pied et la proprioception.

L'activité vestibulaire favorise les activités motrices fines (écriture, collage, découpage, coloriage) mais aussi la distinction de sa droite et sa gauche, sa capacité à écrire droit, l'orientation des lettres et des chiffres. Les jeux stimulent une ou plusieurs sensorialités et permettent à l'enfant de se connaître (Epstein).

#### **1.4.5. De la motricité réflexe vers la motricité volontaire fine.**

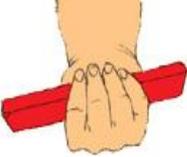
##### **a) Les premières prises manuelles.**

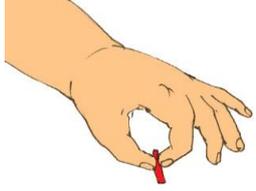
« Conjointement à la motricité primaire, il se met en place des aptitudes motrices innées non appelées à disparaître. Ces aptitudes motrices définitivement programmées sont observables dès les premiers mois de la vie et tout au long de l'évolution motrice de l'homme » (51).

Les travaux du Dr Grenier, l'observation de l'évolution de la préhension la première année par l'équipe du Dr Locksy dans le cadre d'une motricité libérée vont dans le même sens (68).

Cependant, les travaux actuels en neurosciences montrent que les bébés sont capables d'apprentissage très rapidement dans des situations relativement complexes. L'attitude de l'enfant face à un environnement nouveau est d'apprendre. Il réagit à la nouveauté dès le plus jeune âge (20). La stimulation, les interactions sociales et la culture sont mises en avant à ce propos (20).

**Dans un premier temps**, l'enfant n'a **pas d'activité à but fonctionnel**. Le plaisir est une grande motivation pour l'enfant dans sa découverte de préhension. Ainsi **le choix des matières, des formes, des jeux** aura une importance. Cela sera redéfini ultérieurement.

<p><b>Entre 0 à 3 mois</b></p> <p>Activité dominante sous-corticale</p>	<p>Le pouce et les doigts peuvent aller dans la bouche (réflexe de succion). Les mouvements individualisés du coude et de l'épaule sont limités, les membres sont hypertoniques en flexion.</p> <p>A 3 mois, les mains sont maintenues ouvertes au repos.</p>
<p><b>Entre 3 à 6 mois</b></p> <p>Le néocortex devient dominant sur le tronc cérébral.</p>	<p><b>La prise palmaire</b> : les doigts sont repliés dans la paume, le pouce est maintenu en adduction. Il apparaît des mouvements individualisés des doigts et du poignet. L'enfant utilise ses deux mains.</p> <p>Les mouvements des bras, de l'avant-bras et des membres supérieurs sont synchronisés, sur des trajectoires préférentielles puis de plus en plus variées et de plus grande amplitude.</p> 
<p><b>Entre 6 à 9 mois</b></p>	<p><b>La pince inférieure, la prise cubito-palmaire</b> s'effectue entre les faces latérales des dernières phalanges, la préhension en pince est d'abord imparfaite.</p> <p>La coordination visuo-manuelle se développe.</p> <p>L'enfant apporte les objets à la bouche, et les passe d'une main dans l'autre.</p> <p>Il peut tenir un objet dans les deux mains.</p> 
	<p>La prise progresse de la zone hypothénar vers le pouce et de la paume de la main vers le bout des doigts.</p> <p>Vers 7 mois, le pouce stabilise la prise palmaire en crochet.</p>  <p><b>Prise radio-digitale</b> : entre le pouce et l'index.</p> <p><u>Au 1° stade</u> : les trois derniers doigts latéraux vont donner de la</p>

	<p>précision à l'index.</p> <p><u>Au 2<sup>e</sup> stade</u> : l'index s'individualise vers 9 mois, la préhension en pince fine, la prise pouce-index est acquise, elle permet de tenir une cuillère, une pince, des ciseaux.</p> <p>L'abduction du pouce apparaît, il prend des petits objets entre le pouce et les autres doigts.</p> 
<b>9-10 mois</b>	<p>Le nourrisson est <b>capable de choix, d'électivité</b>. La motricité fine demande des mouvements de différenciation des doigts. Il prend un cube avec les doigts. Le poignet se place en extension.</p> <p>L'index s'individualise, il est facilement dissociable des autres doigts.</p> <p>La coordination bimanuelle débute.</p>
<b>7 à 11 mois</b>	<p>Il se dirige vers <b>l'objet en pointant son index dans la direction de l'objet, c'est le stade de l'attention conjointe. L'enfant va vers la socialisation.</b></p> <p>Il offre son jouet à l'adulte sans le relâcher puis le lâcher volontaire apparaît aux environs de 9 mois lorsque le réflexe proprioceptif de préhension est inhibé.</p> <p>Il tient un crayon en se servant de tout son poing.</p>
<b>12 mois</b>	<p>La coordination bimanuelle associative se développe, une main dominante tient le contenant et l'autre va chercher le contenu.</p>

### **b) Les premières phases de la préhension.**

**L'activité motrice réflexe va passer à un acte organisé grâce à la répétition et la maturation corticale.** Le mouvement va devenir fonctionnel. Ce passage a lieu grâce à l'inhibition du système sous-cortical (20, 34).

D'après Dehaene, les bébés peuvent apprendre vite et de manière perceptive.

L'enfant saisit un objet placé au contact de sa main, dans un premier temps et secondairement, il va chercher à attraper des objets de façon plus consciente.

**La préhension se caractérise en 3 phases** : une phase de transport, une phase de préforme, d'ouverture, une phase d'agrippement et une phase de relâchement.

### 1) La phase de transport

Dans ces études, Van Hofsten confirme un **mouvement d'approche balistique** déclenché à la vue de l'objet. A ce mouvement d'approche, s'accompagne une ouverture de la main réflexe même sans présence d'un objet.

Vers deux mois, les mouvements d'approche diminuent, le bébé semble engager le regard vers l'objet. Il observe. « Certains auteurs écrivent que l'activité visuelle peut inhiber la réponse motrice » (20).

Vers 3-4 mois, les mouvements d'approche vers les objets réapparaissent, la main ne s'ouvre qu'en présence d'un objet à attraper. Le geste d'atteinte passe sous le contrôle intentionnel, il cherche à attraper les objets à proximité (16).

Vers 4 mois, le mouvement balistique est un **mouvement incoordonné et imprécis**. Il va très vite être suivi d'un mouvement coordonné et précis vers 5 mois grâce à la répétition (66). A force de percevoir et de répéter, les nouveau-nés apprennent à moduler la vitesse de leur mouvement d'approche vers la cible et à diriger leur main de façon plus directe (14). Au départ, les mouvements sont mal calibrés, trop rapides ou lents, il est observé des distorsions dans la trajectoire de la main vers la cible. Progressivement, l'enfant modifie **tout le tonus de ses membres supérieurs** pour mieux diriger sa main. Le geste se coordonne.

Dès 6 mois, il gagne en maîtrise avec la main préférée.

A la fin de la première année, les bébés ont des gestes plus directs et courts, ce qui apporte de la régularité, de l'économie dans le mouvement et de la précision (69). **L'automatisation** se développe avec la répétition et l'exercice.

### 2) La phase de préforme, d'ouverture, d'agrippement

La **synchronisation des mouvements** de l'épaule, du coude et du poignet permet l'adaptation de la préforme à la forme de l'objet.

**La préforme** est la forme prise par la main pour s'adapter à la forme de l'objet à saisir.

Pendant les premières semaines d'apprentissages de préhension, l'enfant apprend à établir une correspondance spatiale entre la perception et l'action (66).

**La conduite de préhension** chez le bébé humain est visible autour de 3 à 5 mois. Celle-ci est grossière les deux premières années.

Au départ, la préhension est peu adaptée aux caractéristiques de l'objet (55). Ce qui est essentiel chez l'enfant est **la synchronisation du développement de la préforme avec la vitesse du transport de la main vers l'objet**, même si la préforme n'est pas adaptée. **L'enfant apprend à contrôler sa main pour prendre des objets** (14). La régulation se fait de façon automatique.

« **La première manifestation de l'enfant est de saisir** » Fagard J.

Initialement, le processus d'apprentissage de préhension implique une interaction dynamique entre la vision et l'action. On constate une meilleure tonicité de la main préférée, elle est traitée par le système visuel et par les signaux de la sensibilité profonde du bras.

« Elle permet au cours des semaines et des essais répétés, l'établissement d'une cartographie de plus en plus précise entre les informations proprioceptives et visuelles en lien avec l'objet. Cette carte perceptivo-motrice semblerait essentielle pour développer un processus de sélection de l'action » (66).

Les premières approches uni-manuelles sont souvent accompagnées de syncinésies ; celles-ci vont disparaître progressivement.

L'enfant effectue des progrès dans l'approche, la prise et la manipulation des objets (54). Il saisit ceux qui sont placés devant lui, les plus gros ou tendus par un tiers. Il manipule l'objet et le porte à la bouche. L'enfant développe progressivement la compréhension de son action sur le monde des objets.

**La notion de prise d'objet** dépend de l'action et de l'intérêt que l'enfant porte à celui-ci. Il va ensuite différencier un but et retrouver l'effet produit. Au simple stimulus visuel, vient s'ajouter **des sollicitations d'ordre psycho-affectif** : la vue de l'objet aimé et la voix de sa mère.

Une conduite attentionnelle orientée vers un but croît progressivement avec le développement du cerveau et l'évolution psychomotrice.

**La sélectivité des mouvements individualisés** va permettre une amélioration du mouvement de la main. La nature des afférences extéroceptives dépend du stade de développement. Les possibilités d'identification de l'objet à saisir se développent progressivement (51).

La préhension devient **intentionnelle vers 7 à 9 mois**. L'enfant a la capacité de modifier sa réponse de façon anticipée et d'accommoder des objets variés et des situations différentes (14).

### 3) La phase de relâchement

Vers sept mois, **le relâchement volontaire** devient possible, il est global et imprécis.

À 9 mois, **l'interaction entre le système visuel et manuel** permet au nourrisson d'établir une **cartographie de plus en plus précise entre les informations proprioceptives de la trajectoire de la main et les informations spatiales à l'objet perçu** (66). Ils existent des transferts intermodaux entre le toucher et la

vision. Ceux ci sont souvent réalisés à partir de la modalité tactile à la naissance et plus tard. Le transfert toucher-vision est réalisé à partir du toucher et cela dès la naissance. Il existe des relations entre eux (70).

« À 9 mois, les enfants ont acquis l'expérience et la capacité d'anticiper la réponse motrice pour l'adapter à la forme et à l'orientation de l'objet » (66). Il existe une coordination des formes d'actions généralisées.

Le bébé va essayer les conduites motrices acquises antérieurement, il **peut saisir, frapper, secouer, appuyer, frotter, tourner, saisir**. Il mobilise **une diversité d'action sur l'objet, pour mieux l'explorer et se construire une connaissance pratique de ses propriétés et de son usage**.

**Dès que la préhension et le lâcher de petits objets sont acquis**, des jeux tels que **la construction de tours de cubes** devient possible.

M. Le Métayer écrit, « L'utilisation fonctionnelle des mains nécessite un maintien postural des membres supérieurs contre la pesanteur et leur transport dans l'espace. Des programmations motrices impliquent le tronc et les membres inférieurs, le maintien postural est nécessaire et engage tout le corps ».

Lorsque l'enfant va chercher à attraper des objets consciemment, il réoriente son corps (51).



Adèle, 4 mois et demi

### **1.5. Les acquisitions motrices et posturales.**

**Le développement de la main est en lien avec les grands mouvements la première année.**

« Le développement postural joue un rôle important dans l'émergence de la préhension » J. Fagard.

Les acquisitions posturales se développent de façon **ordonnée, séquentielle et universelle** même si la période des séquences d'acquisitions peut varier de 5 à 6 mois entre les enfants » (64).

« Chaque enfant se développe naturellement à son rythme » (64, 22).

Dans un premier temps, **le développement postural est pré-câblé** et s'acquiert **de façon innée**. Des facteurs environnementaux vont ensuite s'ajouter et permettre ensuite de mieux cibler les actions.

D'après C. Assaiante, « Le contrôle postural constitue un prérequis à l'expression d'une motricité harmonieuse et efficace. La posture assure tout d'abord une fonction d'équilibre lors de l'initiation et au cours de la réalisation d'une action ».

La fonction posturale est présente dans l'organisation du mouvement, l'ensemble des contractions, elle est régulée dans l'espace et dans le temps.

### 1.5.1. Le tonus du nouveau-né.

Un des supports de construction de l'axe corporel, du tonus est la **relation avec la mère et l'environnement affectif**. Le support relationnel, la contenance, le portage, le regard, sont des appuis pour le nouveau-né et contribuent aux états toniques posturaux. Wallon parle de **dialogue tonico-émotionnel**. En effet, cette contenance s'exprime aussi au niveau psychique. « L'enfant s'agrippe au milieu humain, c'est une question de survie » dit Vasseur. Le portage, la façon de tenir dans les bras donne des appuis lors des changements de position pour stabiliser la tête, le buste et soutenir le bassin. Le portage permet de compenser le schéma d'extension encore absent. L'état d'éveil de l'enfant, sa respiration, le contrôle des flux sensoriels contribuent aussi aux états toniques posturaux (50).



Adèle, 10 jours

Dans un premier temps, l'enfant mobilise tout son corps de façon générale. Les ressources toniques dont il dispose lui permettent de s'organiser à partir de postures de base (50), ce sont des états stables vers lesquelles il tend lorsqu'il est en déséquilibre sensori-tonique.

### 1.5.2. Comment l'enfant fait-il face à la pesanteur ?

Le passage d'un milieu aquatique dans la cavité utérine, à un milieu aérien, entraîne l'exposition de l'enfant aux lois de la gravité (50, 14, 53). Les effets de la pesanteur et l'influence des facteurs de l'environnement ont un effet considérable sur le développement du bébé. **Des réponses motrices programmées et innées permettent de faire face à la pesanteur. Les fonctions antigravitaires contrecarrent l'effet de la pesanteur.** Ces premières actions constituent les premiers stockages en mémoire de synergies motrices (51). Les fonctions : de soutien, régule automatiquement les muscles antigravitaires, celle de maintien tient les membres au-dessus des points d'appui, et celle du redressement régule les contractions musculaires pour les relever (51). Le redressement contre la pesanteur s'organise à partir de la tête pendant la première année (53). La posture répond aux forces exercées sur le corps par la gravité (71). La régulation des muscles agonistes et antagonistes, les réponses actives et globales amènent à un équilibre postural. Le tonus, état permanent de tensions musculaires, permet à l'enfant de s'opposer à la gravité.

### 1.5.3. Les acquisitions motrices et posturales la première année.

D'après C. Assaiante, « Au cours de la première année, la maturation posturale se conçoit comme une **verticalisation progressive céphalo-caudale** des différents segments corporels jusqu'à l'obtention finale de la station debout ».

**Le développement postural** se déroule selon **une loi de maturation neurologique céphalo-caudale** (de la tête vers le bassin) et **proximo-distale**, du tronc vers les doigts.

L'enfant va peu à peu se servir de référentiel stable pour stabiliser d'autres parties du corps puis il va maîtriser progressivement ses différents segments articulaires.

**Le développement du contrôle postural améliore l'approche manuelle.**



Illustration d'Olivier Rouan

« **La posture sert de cadre de référence pour organiser efficacement le geste** » (72).

La description de certains auteurs tels que Bullinger, C. Assaiante, Le Métayer sur le développement de l'enfant donne quelques éléments de l'organisation posturale.

A la naissance, le nourrisson s'ouvre au monde extérieur, ses réflexes archaïques sont remplacés en quelques semaines par une tonicité musculaire plus mature. Les premières acquisitions posturales sont de nature réflexe, ce sont des mouvements spontanés.

Le nouveau-né peut cependant réaliser des mouvements volontaires.

Des petits mouvements de main et de bouche sont observés spontanément pendant le sommeil.



Adèle, dix jours

De la naissance, autour de 3-4 mois, l'enfant présente une hypotonie du tronc et une hypertonie des membres. Les réflexes sont orientés vers l'avant du corps, l'enfant est en enroulement. La tête a tendance à tomber vers l'avant. La posture symétrique en flexion, en enroulement privilégie une activité autour de l'espace buccal (50). L'enfant met très souvent les mains à la bouche dans un premier temps de façon réflexe puis de façon consciente.



Antonin, 3 semaines

« La position fœtale est la synthèse motrice de trois facteurs : **axialité (posture), coordination et enroulement**, ce sont trois critères de la motricité humaine » selon Le Métayer.

L'enfant émerge peu à peu de la motricité primaire. Il associe à l'enroulement primaire des mouvements d'extension. Un schéma d'extension sollicite la musculature de son dos. Le bébé présente des réactions de redressement de la tête en réponse à des stimulations vestibulaires. Cela permet de ramener l'orientation de la tête sur la verticale gravitaire (64). Certaines postures sont symétriques (flexion, extension) par rapport à la colonne vertébrale, d'autres sont asymétriques, le réflexe asymétrique du cou en est un exemple. Celui-ci modifie la répartition tonique du corps entre la droite et la gauche (50). A la naissance, le nouveau-né allongé sur le dos a la tête positionnée légèrement sur le côté. Le bras dans le plan du regard devient plus tonique du côté où la tête est tournée. Le tonus des membres inférieurs suit le tonus des membres supérieurs. Le passage d'une posture tonique asymétrique à l'autre coordonne le côté droit et le gauche et permet **la jonction des mains**.

Par exemple, l'œil droit dominant regarde le bras droit en extension, l'enfant regarde sa main droite. La main regardée va effectuer ensuite des conduites de pointage.

#### **1.5.4. Les référentiels posturaux.**

Tout au long de l'acquisition des stratégies posturales et locomotrices au cours de l'enfance, il existe quelques périodes charnières.

##### **e) Le maintien de la tête : le premier référentiel postural.**

D'après les expériences de Grenier en 1981, **des conditions de soutien postural augmentées chez un nouveau-né de quelques semaines** permettent le maintien de la tête dans le prolongement du tronc lorsque le dos du nourrisson est sur l'avant-bras de l'examineur et son regard orienté vers sa mère. Cela lui permet de libérer ses membres supérieurs et ses mains et **le nourrisson peut réaliser un mouvement du bras vers un objet**.

Des travaux plus récents montrent que la tonicité du tronc et de la tête permet de libérer l'utilisation des membres supérieurs (53). Le maillon céphalique est essentiel dans la chaîne posturale (64). Il permet l'orientation dans l'espace (73). **La tête est le premier référentiel postural (42), (53).**



Adèle, 4mois

Vers 3 mois, l'enfant contrôle progressivement le tonus des muscles de son cou, **il va tenir sa tête**. Elle est le point de départ de toute l'organisation posturale (53). Le segment céphalique permet l'orientation dans l'espace et constitue par sa stabilisation, la base indispensable d'une future organisation de l'équilibre. « La stabilisation de la tête et du regard sur la cible améliore les manipulations manuelles, elle est un prérequis de l'apparition des gestes de saisies bimanuelles et de manipulation » C.Assaiante (64, 74).

« Tenu en position assise, le bébé contrôle la tête qui devient alors un référentiel mobile mais stable, et permet la coordination des informations multi sensorielles » écrit Vasseur. R.



Adèle, 5mois

### **b) Le bassin : le 2° référentiel postural.**

**Le bassin est un 2° référentiel postural** à partir duquel s'organise l'équilibre latéral du bassin en cours de locomotion (75).

« Vers 6-7 mois, sur le dos, le regroupement est maximum et permet à l'enfant d'attraper ses pieds avec les mains. Il saisit son pied droit avec la main gauche et vice versa, **le bassin est une charnière** » (53).



Illustration Olivier Rouan

C'est une 2°étape majeure dans la construction de l'axe corporel et du développement postural, indispensable à la position érigée.

Les jonctions croisées haut-bas se réalisent selon un répertoire de mouvements impliquant tout le corps, dans tous les sens. L'enfant peut s'enrouler et se redresser contre la pesanteur.

Sur le ventre, en appui sur le bassin, et les membres supérieurs étendus, ses mains sont ouvertes.



Moise, 15mois

L'âge de 6 mois est une transition entre les schémas de flexion avant cette période et celui d'extension après celle-ci (42).

**La stabilisation précoce du bassin est un prérequis à l'apparition de la marche.**

« Deux segments sont privilégiés pour assurer le contrôle optimal : la tête et le bassin, la tête étant le segment porteur des capteurs visuels et vestibulaires qui sont tous deux impliqués dans le contrôle de l'équilibre » écrit C. Assaiante.

### **c) Le tronc : 3<sup>o</sup> référentiel postural.**

L'axe grâce à l'intégration du bassin commence à se construire tant au niveau postural que représentatif. **La colonne vertébrale représente l'axe corporel** et joue aussi un rôle essentiel. Véritable pilier, elle permet le maintien du corps. **Le contrôle de l'axe permet d'organiser ses premiers mouvements, il a un rôle considérable pour les membres supérieurs (76).** A partir de cet axe, vont s'organiser les premiers schémas moteurs, les premières coordinations (51, 60). Le tronc constitue un point d'appui stable grâce à un équilibre entre la flexion et l'extension. **Le haubanage avant/arrière, l'appui antérieur des mains et les progrès du redressement préparent l'enfant à la position assise.**

La tenue de tête en position assise s'appuie sur la vision.



Artur, 6mois

L'enfant peut se tenir assis en appuyant sur ses membres supérieurs étendus, le dos est en cyphose lombaire.

Le jeune enfant présente **un fonctionnement articulé de l'ensemble tête- tronc** (64).

En position assise, **les rotations axiales du buste s'engagent et assurent un haubanage droite- gauche** (42). Grâce aux mouvements de torsion du buste, les mouvements globaux qui engagent tout le corps diminuent, les bras sont libérés. **L'enfant peut se tourner en arrière et attraper un objet. Le placement des mains va pouvoir prendre de nouveaux appuis devant et sur le côté, cela facilite la rotation du buste, la tête va devenir plus mobile.**

Les activités des deux membres supérieurs conduisent parfois à une adaptation de tout le corps pour agir d'une main tandis que l'autre est en appui (51).

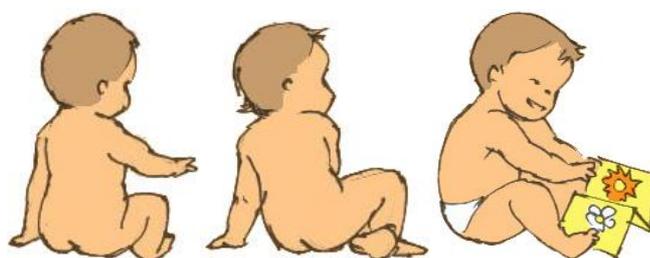


Illustration de Olivier Rouan

**Par une progression** de redressement et de rotation, une transformation de l'espace du tronc s'opère. Lorsque le redressement du buste est suffisant, des changements de posture se réalisent par une bascule latérale d'une fesse sur l'autre et la tête se tourne de l'autre côté. L'enfant va regarder l'autre main. Les appuis au niveau du bassin vont s'inverser. **Une dissociation des ceintures scapulaires et pelviennes se développe.**

**Vers 7-8 mois, un bon tonus du tronc est acquis et vers 9 mois, l'enfant peut tenir assis seul, cela libère ses membres supérieurs.**

La position assise entraîne plus de **prises uni-manuelles** (Rochat 1992) et permet de libérer les mains pour les activités de manipulations.



Adèle, 7mois



Adèle, 9 mois

Le tronc constitue donc un référentiel de base pour le contrôle postural (71), préalable à l'acquisition de la plupart des activités posturo-cinétiques au cours de la petite enfance (53).

### 1.5.5. Les niveaux d'évolution motrice.

Le développement psychomoteur de l'enfant suit **une progression dynamique en pleine évolution. Les aptitudes psychomotrices de l'enfant sont prévisible dans leurs chronologies et est universelle.** Il a été défini en partie par les capacités sensorimotrices initiales de l'enfant : certaines sont matures dès la naissance, d'autres continuent leur développement. **Les habiletés motrices vont gagner en performance.**

**Les niveaux d'évolution motrice décrits par Le Métayer rappellent la globalité du corps mis en jeu pendant les programmes moteurs.** Ils nécessitent **l'intégration de plusieurs schémas de base** qui se mettent en place **de façon définie, synchronisée et innée.** Ces aptitudes cérébro-motrices innées permettent des ajustements automatiquement régulés lors de l'exécution du mouvement. Le nouveau-né acquiert au cours de la première année de sa vie, l'aptitude à se déplacer avec le ramper, les quatre pattes et la marche. Il va aussi apprendre à contrôler sa position assise puis debout.

Couché sur le dos, l'enfant se retourne, puis rampe, se tient en position assise, marche à quatre-pattes parfois, se relève et s'agrippe pour se relever et marcher.

Les séquences du développement sont les mêmes pour tous les enfants, il existe cependant **des variations interindividuelles en fonction de la génétique, du rythme personnel de l'enfant et de l'environnement.**

Chaque phase a lieu suivant certaines séquences et elles n'évoluent pas toutes au même rythme. Conjointement, la préhension suit aussi un développement spontané avec une chronologie bien définie vue précédemment. Le membre supérieur et la main participent aux différents stades des niveaux d'évolution motrice. Toutes ces étapes sollicitent les membres supérieurs et les mains, elles se renforcent et apprennent à se coordonner.



Illustration d'Olivier Rouan.

**La main intervient de façon programmée** lors des retournements, des reptations, des fonctions d'appui, de redressement et d'équilibre.

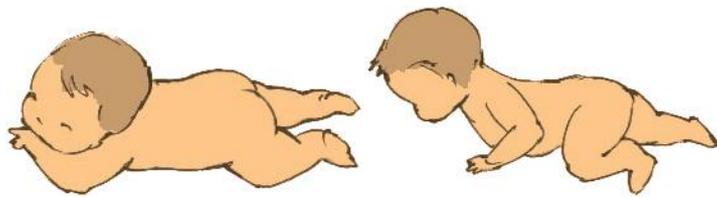
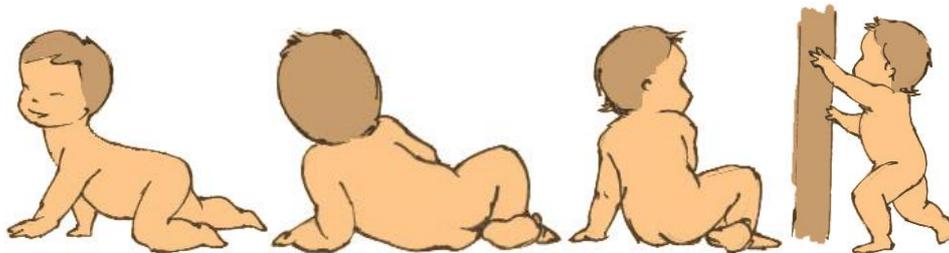


Illustration d'Olivier Rouan.

Par la répétition, l'enfant va rendre ses mouvements efficaces, et économiques.



Le ramper à plat ventre, en diagonale dissociée prépare la quadrupédie. **La charge sur ses membres supérieurs augmente avec les appuis.** Ils sont réalisés par des diagonales en alternance, une main d'un côté, le genou de l'autre dans de nouvelles coordinations haut-bas, croisées dans les appuis et lors du déplacement (53).

**Lors du quatre-pattes vers dix mois,** les ceintures pelviennes et scapulaires se renforcent et entraînent **le transfert du poids du corps d'un côté à l'autre.** L'enfant va parvenir à soulever un membre pour prendre un objet.

La charge sur les mains augmente. **Le quatre-pattes favorise la prise uni-manuelle vers 9-10 mois.** (53).

La marche debout favorise aussi la prise bimanuelle (77) et elle permet à l'enfant d'entrer en relation avec l'espace plus éloigné et contribue aux développements manuels par ses explorations.



Adèle, 10 mois

Des nouvelles formes de déplacement amènent de **nouvelles représentations sensorimotrices unifiées de l'image corporelle** (53).

« La posture globale adoptée facilite le contrôle postural du tronc et de la tête, et améliore en même temps celui des membres supérieurs » (51).

#### 1.5.6. L'accès aux différents espaces, les aspects spatio-temporels.

##### a) L'espace.

Pour de nombreux auteurs, la motricité volontaire active chez le bébé serait à l'origine de la construction des notions d'espace.

D'après Gallesse, l'exploration active de l'environnement est un moteur puissant du développement des fonctions spatiales. La coordination entre les informations visuelles et la posture permet un accès à la représentation spatiales.

Le système sensorimoteur ne donne pas l'accès à l'espace, **les représentations corticales et spatiales permettent la coordination des informations sensorimotrices.**

##### **L'évolution des représentations spatiales suit le développement postural chez l'enfant.**

La perception de l'espace suppose la coordination, des signaux visuels et internes : vestibulaires somesthésiques d'une part, et de la motricité de l'ensemble du corps d'autre part.

La perception des différents espaces contribue à la représentation du corps et au schéma corporel. L'utilisation de l'espace est en relation avec le mouvement. Celui-ci est à l'origine de représentations sous forme de cartes cognitives ou spatiales. Elles permettent de situer les différents espaces et de les connecter entre eux. Chaque espace s'exprime sous forme de représentations visuelles imagées. La navigation dans l'environnement nécessite la construction de représentations et aussi de l'intégrité de la mémoire spatiale, et des capacités exécutives (planification, choix d'une stratégie en fonction du but).

D'après Bullinger, l'enfant acquiert la connaissance de différents espaces.

L'espace oral : il joue un rôle de relais entre les espaces droit et gauche. L'enfant met les objets à la bouche pour les passer d'une main dans l'autre. Les mains coopèrent dans un premier temps proche de la zone orale dans l'axe médian.

L'espace de préhension : c'est une zone unifiée entre le côté droit et le côté gauche qui permet de passer d'une posture asymétrique à l'autre (53). La coopération bimanuelle part de l'espace oral pour gagner tout celui de la préhension. Les mains ont souvent une activité symétrique de support de l'objet qui est porté à la bouche.



Moïse, un an.

L'espace de préhension unifié permet de traiter les objets placés à l'intérieur de celui-ci. La distance est un paramètre étudié dans les tâches de préhension. Un objet placé en dehors de cette zone met à contribution la vision, il va être vu, sans être attrapé. Grâce à un déplacement adapté de l'enfant, l'objet peut à nouveau rentrer dans ce périmètre de préhension. La main utilisée est souvent dépendante de la posture, du côté d'utilisation. Du côté droit, l'enfant se sert de sa main droite, et il pointe avec celle-ci ou prend appui dessus. A gauche, la gestuelle est identique.

L'espace du buste : lorsque la posture du tronc est stable, elle n'influence plus les mouvements des mains. Une main va être plus passive et l'autre plus active. **C'est le début de la coordination bimanuelle.**

L'espace proche : il s'organise en référence au corps. L'enfant prend des objets dans cet espace, situé autour du corps.

L'espace lointain : il permet la locomotion et la navigation. L'enfant peut aller en dehors de l'espace de préhension grâce au progrès de la navigation. L'ensemble du corps et l'objet se déplace.

**La représentation spatiale chez l'enfant est liée à son activité sensorimotrice (78).**

### **b) Le temps.**

Dès la naissance, les rythmes corporels doivent s'ajuster aux conditions temporelles imposées par l'environnement. Déjà, les mères chez les chimpanzés ralentissent leur geste pour l'apprentissage de leur petit (7). Si l'évolution psychomotrice est bonne, l'enfant va disposer d'une motricité globale bien organisée temporellement. L'expérience du rythme se développera alors sur le plan moteur.

M. Montessori met un accent dans son ouvrage sur le respect du rythme de l'enfant.

### **1.5.7. L'équilibre et la main.**

La position verticale entraîne une élévation du centre de gravité et une réduction de la surface d'appui au sol, cela augmente l'instabilité du corps. L'équilibre permet de maintenir la projection du centre de gravité dans le polygone de sustentation. `

Le développement des équilibres statique et dynamique d'une part, et de la motricité du membre supérieur d'autre part, permet à l'enfant de faire face à des situations déstabilisantes.

## La main participe à l'équilibre.

« La maîtrise des membres inférieurs ainsi que la coordination entre les parties inférieures et supérieures du corps deviennent des facteurs déterminants du maintien d'équilibre » C. Assaiante.

Les informations somesthésiques, visuelles, podales et vestibulaires sont essentielles à l'équilibre. Le cervelet par sa fonction régulatrice et son immaturité la première année, participe à l'équilibre précaire du nourrisson. Son volume va plus que doubler au cours de la première année (31).

La fonction d'équilibration se déclenche automatiquement en cas de déséquilibre. **Les réactions de type parachute** permettent de se protéger lors d'une chute. Elles dépendent de l'expérience et de l'apprentissage, elles font partie des praxies. Lors des réactions d'adaptation du corps, les actions volontaires des membres supérieurs et de la main latéralement, en avant ou en arrière, permettent à l'enfant de se rattraper. L'enfant intègre ses réactions dans une **programmation motrice acquise grâce à la répétition**. Il sera alors capable d'anticipation et de choix de réaction d'équilibration lors d'un prochain déséquilibre (51).



Mani, 2 ans

s'agrippant



Adèle, 9mois se met debout en

L'enfant s'agrippe pour se mettre debout, il tient ensuite en équilibre debout de façon statique. Tenu par deux mains puis une main, l'enfant arrive progressivement à une marche dynamique accompagnée puis autonome. Les membres supérieurs et les mains participent à l'équilibre, en avant, sur les côtés aussi pour se baisser...



Léopold, 2ans et demi

« En étudiant l'enfant, nous suivons deux développements : le développement de la main et le développement de l'équilibre et de la marche. A un an et demi, un rapport entre les deux développements s'établit, quand l'enfant veut porter un objet et que ses jambes doivent l'y aider. » écrivait Maria Montessori.

La posture assure aussi le contrôle de l'équilibre. Ses stratégies reposent sur le choix du référentiel sur lequel s'organise l'ensemble tête-tronc-bassin et sur la maîtrise progressive des différents segments corporels les uns par rapport aux autres. Il existe une évolution de ces stratégies en fonction de l'âge. L'équilibre et la marche demandent la stabilisation de ces différents segments corporels.

### 1.6. La latéralité.

Une des caractéristiques de l'habileté manuelle est la latéralité, une main préférée joue un rôle majeur dans la plupart des activités. Une main est plus habile, moins gauche !

La latéralité décrit une fonction asymétrique. Elle joue un rôle dans les coordinations visuo-manuelles, bimanuelles et dans la posture. Elle s'exprime dans les préférences manuelle, oculaire, podale, auditive et dans les différences de performances sensorimotrices selon les effecteurs préférés.

Pour la latéralité manuelle, il existe des droitiers affirmés, constants, d'autres non homologues, des ambidextres au sens large, d'autres au sens strict. Les gauchers sont différents, ils utilisent plus souvent leur main préférentielle, et leur organisation cérébrale est différente.

Chez la plupart des individus, l'hémisphère gauche est dominant : la personne écrit de la main droite. La dominance est le phénomène par lequel un hémisphère cérébral joue un rôle principal en rapport avec une fonction spécifique. La dominance cérébrale est innée pour les uns, et environnementale pour d'autres. La plupart des patterns sont typiques pour 80 %, d'autres se sont modifiés pour 20 % des cas. La dominance est le phénomène par lequel un hémisphère cérébral joue un rôle principal. L'hémisphère gauche (rationnel) fonctionne sur un mode linéaire, séquentiel, analytique ; il traite la latéralité et le langage pour la majorité. L'hémisphère droit est plus holistique, il contrôle les émotions, l'intuition, l'attention, et les processus visuo-spatiaux (7).

Le contrôle des membres est croisé, l'hémisphère droit commande la main gauche et l'hémisphère gauche, la main droite. Dans les deux cas, il existe une décussation au niveau du tronc cérébral qui explique la contro-latéralité.

**La prédisposition génétique est très probable, l'anatomie du cerveau, des facteurs sexuels, certains facteurs environnementaux et culturels exercent un impact sur la latéralisation (5, 4).**

Les facteurs génétiques peuvent être influencés par des modifications épigénétiques en lien avec l'environnement et la culture.

Un cerveau asymétrique. Les travaux en imagerie motrice ont montré qu'une fonction n'est jamais localisée dans un hémisphère, il existe de nombreuses **connexions inter-hémisphériques**. Les deux hémisphères sont interconnectés instantanément principalement par l'intermédiaire du corps calleux. Les deux mains ont des informations en provenance des deux hémisphères. Les chercheurs ont découvert que les deux hémisphères cérébraux fonctionnent de façons **différentes, asymétriques mais complémentaires** (5). L'asymétrie de

fonction a été découverte il y a plus de 150 ans par Broca (1865). Elle a optimisé les fonctions du cerveau « cognition » (5).

Grâce à l'imagerie cérébrale, il a été observé chez des enfants de 1 à 4 mois, des asymétries en faveur de l'hémisphère gauche. Il existe une prédisposition pour la spécialisation hémisphérique gauche du langage dès les premiers mois de la vie. La latéralité manuelle est en lien avec le développement du langage. La préférence pour la main droite peut diminuer lorsque l'enfant apprend à parler. Certaines activités manuelles rentrent en compétition avec le langage. Les deux utilisent la même ressource : l'hémisphère gauche (80, 81).

La posture : la posture asymétrique de la tête à la naissance (réflexe asymétrique du cou) permet à l'enfant de voir plus sa main d'un côté et la sollicite davantage.

L'environnement culturel, les habitudes familiales et sociétales peuvent aussi influencer la main préférée. La pression de l'environnement peut renforcer aussi le nombre de droitiers.

Au fil du temps, l'acquisition préférentielle d'une latéralité s'est transmise.

La plasticité cérébrale permet de transférer la latéralité de la main préférée. L'autre main peut devenir la main plus active suite à une amputation, une anomalie congénitale opérée, une hémiplégie. La musique, certaines activités, certains sports facilitent l'usage des deux mains.

Pour les enfants changeant de main, les patterns moteurs et séquences motrices sont plus difficilement automatisés et leur latéralisation sera plus difficile à acquérir.



Artur.

**Les enfants montrent une préférence manuelle précocement dès la vie fœtale.** La latéralité se manifeste très tôt entre la 10<sup>e</sup> semaine et la 15<sup>e</sup> semaine in utero, une étude a montré que 83 % des fœtus ont une asymétrie manuelle en faveur du bras droit. 80 % des fœtus sucent leur pouce droit. Cette asymétrie en lien avec la préférence manuelle a été retrouvée à l'âge de 12 ans dans une étude (14).

Dès que les nourrissons commencent à prendre et manipuler les objets, la majorité d'entre eux utilise la main droite. La fréquence des droitiers est 2 à 3 fois supérieure à celle des gauchers et ceci dès le début de la préhension.

« A la naissance et dans les premiers mois avant la prise d'objets, les réflexes et la coordination visuo-manuelle semblent impliquer le côté droit plus que le gauche pour la majorité des bébés du moins pour le choix de la main active » (14).

L'organisation gestuelle montre une différence vers 6 mois et la préférence pour la main droite est observée entre 6 à 8 mois (82).

D'après des études, le geste d'approche est plus rapide avec la main préférée (78).

La main choisie pour la prise sera visible plus tard aux alentours de 9 à 10 mois.

La préférence manuelle peut être influencée par le côté de présentation des objets (à droite ou à gauche ou au milieu), le type d'objet (nécessitant une prise normale ou de précision voire une prise bimanuelle). Un enfant prend l'objet avec la main du même côté qu'on lui tend (82).

De façon plus systématique pour les tâches demandant une prise de précision, la main préférée est utilisée. Les bébés utilisent davantage leur main droite pour prendre des objets de petite taille (82), les enfants pour l'écriture et la tenue d'un marteau.

De 7 à 11 mois, pour montrer du doigt avec l'index, une étude a montré que l'enfant utilise sa main dominante, c'est un mouvement de communication. Il y a une préférence de la main droite pour les activités non symboliques telles que le pointage (83).

A 12 mois, dans le cas d'un mouvement bimanuel, l'enfant change de main pour se servir de sa main préférée pour réaliser une prise fine (84). Cependant, durant la première année, il change parfois de mains pour des activités nécessitant peu de précision : participer à des jeux de construction, montrer des images du doigt.

Vers 18 mois, lors des manipulations, il est souvent observé **une ambidextrie naturelle**, les enfants peuvent changer de main au cours d'une activité. Ils utilisent indistinctement les deux mains, cependant d'après des études, devant une activité contraignante, de précision, l'enfant utiliserait préférentiellement sa main dominante (7). Exemple : jeux de construction.

Vers 2 ans, l'enfant privilégie sa main préférée de façon stable voire définitive. Elle est en corrélation avec celle qui a été déterminée dès 7-8 mois.

La préférence manuelle s'affirme dans les tâches contraignantes (de précision) et sensibles à la position de l'objet. Le fait de changer de main est directement lié au développement de la capacité à croiser la ligne médiane du corps.

Entre 2 ans et demi et trois ans, si un jouet est placé à droite, l'enfant essaye de le prendre avec la main droite, en fait il prend l'objet avec la main qui est le plus proche de l'objet.

**La dominance s'établit complètement vers 3 à 6 ans. Lorsque la maturation corticale s'affirme, l'utilisation d'une main préférée va devenir jusqu'à devenir dominante, celle-ci est déjà préétablie in utero.**

Vers l'âge de 4-5 ans, la plupart des enfants croisent la ligne médiane de leur corps pour atteindre un outil (85). L'enfant continuera à se servir de la main la plus proche de l'objet pour le saisir si l'acte demande peu de dextérité et de précision (7).

La dominance bien qu'elle soit déterminée pour 80% des enfants in utero, se développe de façon graduelle et vers 5 ans la plupart des enfants solliciteront leur main préférée pour utiliser des ciseaux ou un stylo.

A l'entrée à l'école, la manipulation d'outils (ciseaux, stylo, activités manuelles) demande de la dextérité.

La main préférée permet les activités manuelles fines et l'utilisation des outils.

Grace les neurones miroirs, l'enfant est influencé par la main utilisée par sa personne référente (86).

## 1.7. La main et la communication.

Les jeunes enfants communiquent avec des gestes avant l'utilisation des mots, avec leur main dans un premier temps. Certains signes jouent un rôle dans le processus d'acquisition du langage, ils pourraient être facilitants (83). Le geste est le mouvement du corps ou d'une partie du corps, il exprime quelque chose. Il existe des gestes de communication, et d'autres symboliques.

Une communication par signes est parfois utilisée préalablement avant le langage, l'enfant fait part de ses besoins fondamentaux par un langage gestuel.



Léopold, 3ans 6mois « chut »

Aux alentours de 9-11 mois apparaissent **des comportements d'attention conjointe (Bruner)**.

Aussi, le regard permet de communiquer. Sa direction est le reflet de l'orientation de l'attention. « Là, où se porte le regard, se porte l'attention ». L'enfant comprend que le regard de son interlocuteur désigne un point d'intérêt où il va diriger sa propre attention. L'adulte s'intéresse à ce qui retient l'attention de l'enfant. Celui-ci découvre ce qui est important pour son entourage.

Vers 9 mois, il montre, pointe avec l'index pour désigner un objet dans son ensemble. Ce pointage permet un ajustement fin oculo-manuel dans un **dispositif attentionnel partagé**. Dans le pointage proto-impératif, l'index est utilisé pour tenter d'obtenir un objet de la part de l'adulte.

Lors du pointage proto-déclaratif vers 12 mois, l'index est utilisé pour indiquer à une autre personne un objet, un événement. L'enfant est à la recherche de partage émotionnel et d'un échange affectif pour en comprendre la signification (80).

D'après Wallon, cette période marque le début du développement social. C'est une condition du développement cognitif global de l'enfant (G. Haag, 54).

La socialisation et l'automatisation sont essentielles à la constitution d'un chemin vers l'acte d'apprendre.

Le rôle de la main relationnelle dans le développement socioculturel de l'homme est primordial.

## **DEUXIEME PARTIE : Des mouvements manipulateurs aux gestes de la main : les praxies.**

### **« Se prendre en main »**

En grandissant, lors des activités, l'enfant effectue une série de mouvements variés dont la complexité dépend de la nature de la tâche à réaliser. Les coordinations bimanuelles se mettent progressivement en place. **L'intégration motrice bilatérale est une autre sphère du développement des habiletés manuelles.** L'enfant commence à manipuler ses jouets avec ses deux mains et cherche à les utiliser de façon coordonnée. Dans de nombreuses situations, les deux mains vont agir de façon complémentaire. Cependant, la main préférée a spontanément une légère avance sur l'autre pour 80 % des droitiers quel que soit l'âge (7). Ces coordinations nécessitent une maturation corticale des fonctions exécutives, des aires associatives. L'entraînement et parfois l'apprentissage les améliorent.

#### **2.1. La coordination bimanuelle.**

La plupart des activités mises en jeu nécessitent la coopération des deux mains. Leur rôle est plus ou moins actif ou spécifique selon l'activité. Les gestes simultanés sont toujours dépendants au niveau spatio-temporel, il existe un léger décalage entre les deux mains (7). La plupart des habiletés gestuelles demandent une cette coordination.

A 3-4 mois, il existe une première **période de bilatéralité**. Les mouvements des deux mains de l'enfant ne sont pas différenciés, elles agissent en miroir. Cela est favorisé par une posture relativement symétrique, et le maintien de la tête. Ces coordinations restent rudimentaires jusqu'à 9-10 mois.



Anaïs, 18 mois

A 7 mois, l'enfant porte les objets à la bouche, transfère un objet d'une main dans l'autre. La rotation d'objets devient bimanuelle entre 9 et 12 mois. Elle est présente dans les manipulations simples.



Adèle, 5mois

Vers 9 mois, assis, à quatre-pattes, l'enfant a appris à contrôler la prise uni-manuelle.

Les changements posturaux et le contrôle distal du geste évoluent grâce à l'anticipation.

Parfois, il n'existe pas de lien avec la posture : une main peut exercer un mouvement rapide tandis que l'autre réalise un mouvement plus lent (une main tient une assiette et l'autre bouge avec la cuillère).

Avant 1 an, les gestes peuvent être réalisés successivement, mais la coordination n'est pas encore complètement acquise. Une des mains a un rôle stabilisateur.

Vers la fin de la première année, l'augmentation de la fréquence des approches bimanuelles apparaît comme un phénomène assez stable même lorsque l'enfant s'approche de petits objets. La fréquence des approches bilatérales diminue vers 7 mois et demi et augmente ensuite (7).

**Les coordinations de gestes complémentaires et asymétriques augmentent considérablement ensuite.** Leur âge d'émergence dépend des contraintes de la tâche. Les deux mains ont une plus grande indépendance. Pour toutes les manipulations bimanuelles, chaque main réalise une action différente, les deux sont coordonnées et aboutissent à une **action unique**. **Une main joue un rôle plus passif de support et de stabilisation d'objet, l'autre explore, elle est active et manipule.** La main préférée prend le rôle de la main active la première année.

A partir de 18 mois, les périodes d'unilatéralité et de bilatéralité s'alternent. C'est le début de la marche indépendante responsable d'une recrudescence des approches bilatérales.



Moïse, 18 mois

Vers 2 ans, l'enfant utilise préférentiellement sa main dominante de façon définitive. Parfois, la dominance ne s'établit complètement que vers 3-4 ans.



Mani, 2 ans et demi

Vers 5 ans, les enfants utilisent majoritairement la même main pour se servir des stylos et des ciseaux. Ils applaudissent en frappant les deux mains l'une contre l'autre, et avec l'âge, ils gardent une main passive plus stable que l'autre (7). Chez le plus jeune enfant, les tâches complémentaires et asymétriques sont réalisées avec davantage de symétrie par rapport à leur aîné. La main préférée a tendance à conduire la synergie et à devancer l'autre main (87).

L'enfant prend beaucoup de plaisir à taper sur un support : un tambour...

La main dominante tiendra les ciseaux et fera des mouvements d'ouverture et de fermeture, la main non dominante tient la feuille de papier perpendiculairement aux ciseaux, l'enfant adapte la feuille de façon à continuer pour découper les contours. Il se fie à ses différents rétrocontrôles visuels et proprioceptifs pour ajuster la position et l'orientation de la main non dominante. La coordination varie avec l'âge. L'importance des rétroactions sensorielles varie en fonction **des contraintes de la tâche**. L'activité de recherche, les nouvelles expériences, la difficulté ou la nécessité de précision pour parvenir à un but impliquent l'utilisation préférentielle d'une main. Une des deux mains est souvent plus habile, la main préférée, celle qui va définir sa latéralité. Au départ, le choix est indépendant de tout apprentissage.

Dans les coordinations bimanuelles, il existe des contraintes de symétrie et d'asymétrie.

Les contraintes de symétrie sont retrouvées dans les actes de pousser ou tirer.

Les contraintes d'asymétrie sont présentes dans les actes tels que « nouer ses lacets, écrire, jouer de la musique, découper ».

Différents éléments participent à la construction des habiletés manuelles chez l'enfant valide : le développement moteur, perceptif et cognitif, ainsi que la coordination visuo-manuelle et bimanuelle.

**La capacité progressive des deux côtés du corps à coopérer ensemble et de façon complémentaire** permet de réaliser une variété de tâches motrices. L'intégration motrice de la droite et la gauche facilite l'intégration de certains concepts spatiaux.



Léopold, 2ans et demi

**La coordination bimanuelle permet de manipuler les outils avec une certaine dextérité.** L'enfant prend un gobelet, l'amène à la bouche et boit. Ses mains sont plus adroites, agissent en symétrie.

**Le travail complémentaire des deux mains** suppose **une coordination neurologique**, entre les deux hémisphères au niveau des voies associatives : le corps calleux. **La myélinisation du corps calleux** a lieu tard au cours de l'enfance (7). Ces changements au niveau des transferts inter-hémisphérique facilitent la coordination bimanuelle de muscles non homologues.



Julie, 2ans et demi

Les coordinations bimanuelles se développent considérablement au fur et à mesure que l'enfant s'autonomise et apprend à tout faire par lui-même : manger, s'habiller, nouer ses lacets, éplucher un fruit... La plupart des activités de la vie quotidienne l'entraîne à utiliser ses deux mains de façon complémentaire.



Léopold, 2ans et demi

Jusqu'à l'âge de 9-10 ans, les coordinations bimanuelles se modifient de façon importante. Les contraintes vont diminuer au cours des 10 premières années. Des contraintes de synchronies, montrent une augmentation de la régularité et de la stabilité de la frappe avec l'âge. Des progrès notables dans la stabilité d'une frappe bimanuelle ont lieu entre 7 et 11 ans (7). Aussi la posture de l'enfant a changé et l'intégration du système proprioceptif a lieu à partir de 7 ans (64, 78).

Le contrôle n'a pas lieu sur chaque main mais sur une structure de coordination : les deux mains agissent comme une seule unité.



Faustine, 9 ans

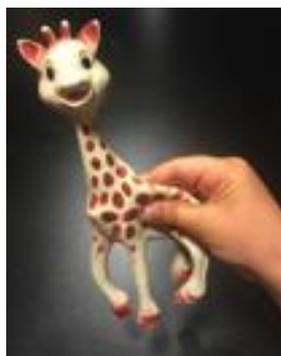
## 2.2. De l'utilisation de l'objet à l'usage de l'outil.

Les bébés passent beaucoup de temps à manipuler les objets. Ces derniers peuvent servir **d'extension à la main**, ils exercent des actions et permettent de modifier les effets de celles-ci. Les outils vont prendre ensuite le relais. Après la maîtrise de la main pour prendre un objet, l'enfant découvre que celle-ci peut agir sur un autre (88). Des études récentes montrent que les enfants adaptent leurs comportements manuels aux propriétés physiques de l'objet (14). « Les bébés découvrent que les objets peuvent modifier la propriété de la main, notamment par rapport aux effets d'actions manuelles qu'ils exécutent couramment. Selon cette perspective, l'utilisation d'outils serait la conséquence des apprentissages des affordances (Gibson 1988) ».

Les mains des nourrissons apprennent très vite à s'adapter aux changements que les objets induisent.

Dès 6 mois, en effet, ils sont capables de détecter les affordances manuelles des objets. Face à des jouets de compositions différentes, une adaptation des comportements manuels de manière systématique et appropriée est observée. Les nourrissons adaptent leurs actions manuelles aux surfaces et à la densité de l'objet.

Entre 6 et 12 mois, ils grattent les objets avec texture, pressent les objets flexibles, secouent les objets qui font du bruit.



SOPHIE LA GIRAFE

Durant la première année, les enfants font interagir les objets avec les surfaces et frappent dessus (69).

Vers la fin de la première année, lorsque le nourrisson frappe les mouvements de bras sont devenus directs et leurs trajectoires raccourcies. Avec l'âge et la répétition, le bébé gagne en efficacité et régularité. Les caractéristiques spatiales et temporelles des mouvements gagnent en constance d'une frappe à l'autre. Ce geste permet la préparation à l'utilisation de l'outil. **Il existe une préadaptation (69). Les patterns d'actions utilisés par les bébés pour explorer les objets serviront lorsqu'ils seront enfants pour le maniement des outils usuels.** Il existe une continuité au niveau moteur entre les actions effectuées pour manipuler les objets et ensuite pour l'utilisation des outils (69).

Au cours des deux premières années, « l'utilisation d'outils émerge graduellement et permet de dépasser les limites de son propre corps. Elle permet d'interagir avec l'environnement : par la longueur, la force et le fonctionnement des organes préhensibles » (89). En fonction de ses explorations et de ses actions sur le monde environnant, des routines perception-action se créent, elles sont utilisées par le nourrisson pour recueillir des informations sur les objets (69). Au fur et à mesure de leur développement, les nourrissons adaptent leurs comportements manuels déjà employés avec les objets pour explorer les outils (90). **Les comportements exploratoires seraient à l'origine de leurs utilisations.**



l'établi et ses outils

Avec les outils, les gestes de frappe doivent être bien contrôlés et réguliers dans leurs trajectoires et le niveau de forces exercées, afin de viser la cible de manière précise. L'approche cognitive donne des explications sur les différences dans leurs utilisations pour les enfants à des âges différents. Il existerait aussi **un stade d'intuition de leurs fonctionnalités.** Celle-ci résulte des explorations précédentes, de l'augmentation des

connaissances des affordances de l'outil, et de sa maîtrise. L'apprentissage de leurs managements met en jeu une composante cognitive (compréhension de la fonctionnalité) et une motrice (habileté à le manier).

A 18 mois, il semblerait que **de nouvelles possibilités apparaissent** (90). La cause précise n'est pas encore connue. Il existe un développement continu de l'usage de l'outil (69), un de ses premiers outils est la cuillère.



Anais, 18 mois

La relation à l'outil: la vue active simultanément et automatiquement son identification, et conduit à l'évocation de son utilisation. Cela déclenche la représentation par analyse automatique de l'environnement, du type de contraintes ou de prises et de gestes adaptés à son usage. Cette élaboration est rapide et automatique à partir d'un savoir visuel (de l'objet et des informations spatiales) et sémantique (usage de l'objet). Elle met en jeu les neurones canoniques (4).

## 2.3. Le schéma corporel.

### 2.3.1. Qu'est-ce que le schéma corporel ?

D'après plusieurs auteurs, du point de vue neurobiologique, « Le schéma corporel présente une organisation supra-modale se définissant par des afférences en provenance des modalités sensorielles proprioceptives, tactiles, vestibulaires et visuelles » (91, 92, 93). Ces afférences donnent lieu à des **représentations internes primaires du corps** dans l'espace qui sont ensuite assemblées en une **représentation unique**, résultat de la fusion des différentes informations sensorielles (53).

Au-delà de ses caractères sensoriels et représentatifs, il existe un aspect symbolique qui met en jeu **le soi** (94), la personnalité. « **Le schéma corporel serait la résultante de l'inné et l'acquis, de l'hérédité et du milieu** ». Les recherches de Rochat (95) montrent un soi corporel déjà présent à la naissance. D'après Kapandji, le schéma corporel débiterait déjà in utero par les sensations acquises par le fœtus à partir de la 10<sup>e</sup> semaine lorsque l'enfant suce son pouce.

C. Assaiante écrit, « La proprioception, la perception du corps renseignent sur la position et la dynamique des segments corporels, c'est la modalité la plus importante du schéma corporel ». Or, nous avons vu que celle-ci évolue en fonction de l'âge.

### 2.3.2. Les séquences d'acquisition.

La construction du schéma corporel s'élabore progressivement, parallèlement à l'évolution sensorimotrice et en relation avec le corps d'autrui. Les premiers schèmes sensorimoteurs permettent la **découverte fragmentaire du corps**. L'enfant découvre peu à peu les différentes parties de son corps. Il se constitue à partir d'expériences et d'apprentissages vécus au long de l'enfance, et probablement in utero en fonction de la maturation du système nerveux, du corps de l'enfant, de l'environnement, et de l'affectivité.

#### **Le schéma corporel sensorimoteur deviendra vers 9 ans.**

D'après Wallon, l'univers sensible de l'enfant est créé et conditionné dans les bras de sa mère. L'enfant manipulé, éduqué sur le plan perceptif par sa mère et son entourage, développe des sensibilités profondes qui développent son schéma corporel. Wallon note que l'enfant identifie les organes chez autrui puis sur lui-même.

A 3 mois, d'après Bullinger, ce schéma se définit **grâce à la zone orale**, l'enfant définit ainsi son axe corporel. Les sensibilités profondes et superficielles d'une part et la maturation de l'œil d'autre part lui permettent de **découvrir sa main**. Il met en relation une partie de lui-même avec sa vue, **la main participe à l'acquisition et la découverte de son schéma corporel**. Elle s'exprime dans la préhension, et dans l'apparition d'une dominance latérale. Le bébé explore une main avec l'autre, puis il saisit ses pieds. Il palpe sa tête et son cou (10-12 mois). **La main** intervient dans le retournement, les réactions (parachutes).

L'enfant s'intéresse aux personnes qui s'occupent de lui et aux enfants de son âge par **empathie et sens social inné**. Vers 9 mois, il explore le corps de l'autre, et vers 12 mois, il commence à l'imiter occasionnellement, puis réellement vers 18 mois. **L'autre** apparaît comme essentiel dans **l'acquisition de la reconnaissance des formes corporelles**. Piaget rapporte l'observation que « l'enfant palpe le visage de son père et ensuite il va explorer son propre visage ».

Le développement du schéma corporel met en jeu la **sensorimotricité**. Il est évolutif dans le temps et l'espace, il s'élabore **sur des sensations et des perceptions**. D'après des études de J Guilbert, les informations sensorielles utilisées lors de la réalisation d'une action influenceraient **la construction de l'enfant et les représentations internes de l'action** (Head et Holmes 1911, Décety-Boisson, 1997).

**« Il existe une lente maturation des représentations de l'action et du schéma corporel pendant l'enfance et l'adolescence » (53).**

Le schéma corporel permet d'établir **les frontières du corps**, de situer les limites et les positions relatives dans l'environnement et par rapport aux objets.

Du point de vue postural, ce schéma parle du corps situé et se construit **sur des bases proprioceptives selon Paillard**. La proprioception contribue à la connaissance des parties du corps, de leur position. Elle mature

tardivement au cours de l'enfance et de l'adolescence. Son intégration dans un contrôle d'action a lieu vers 9 ans (78).

D'après C. Assaiante, « **le schéma corporel doit se construire au cours de l'ontogenèse et conserver un pouvoir adaptatif tout au long de la vie. En manipulant les informations proprioceptives et visuelles, il est possible d'explorer une lente maturation des représentations de l'action et du schéma corporel, ce qui explique que le développement perceptivo-moteur évolue jusqu'à des âges avancés de l'enfance et de l'adolescence** ».

Il se construit à partir de la connaissance de son corps, de la découverte du monde de l'objet, d'autrui et du soi.

L'enfant n'a pas une représentation fidèle et fine de la position de son corps pendant l'action.

Sous l'effet de l'entraînement, de l'apprentissage, et du temps, il va construire **la connaissance de son corps en action**, celle-ci est spécifique à l'activité pratiquée.

**Le corps est le moyen de l'action, de la connaissance et de la relation.**

### 2.3.3. L'image corporelle.

D'après Paillard, **le schéma corporel se construit principalement sur des bases proprioceptives et l'image corporelle à partir d'informations visuelles.**

Vers 18 à 20 mois, se forment les premières imitations différées, c'est alors qu'est défini le terme d'image corporelle. Elle évoque davantage les informations extéroceptives et visuelles, le vécu subjectif de chaque individu.

### 2.3.4. L'outil dans le schéma corporel.

Les outils habituels utilisés par l'enfant (le crayon, la souris de l'utilisateur d'ordinateur, un instrument de musique) peuvent être **incorporés dans son schéma corporel en constituant une sorte d'extension** (94).

D'après Kapandji, cette intégration au niveau corporel et fonctionnel permet à l'outil ou l'instrument de s'inscrire dans l'image cérébrale. L'instrument devient le prolongement de la main. Lors des périodes d'apprentissage, à travers son action, il sera intégré au niveau cortical et dans le schéma corporel.



Ambre, 11 ans

## 2.4. Les neurosciences et l'apprentissage.

Le développement cérébral est associé à l'expérience, lui-même lié à l'apprentissage.

L'attention est en lien avec la motivation, elle-même reliée à l'affectivité, la concentration et la maturation des aires visuelles. **Des conduites attentionnelles sont établies avant l'utilisation du geste.**

L'attention et la mémoire sont fortement **impliquées dans les processus d'apprentissage**, elles se développent progressivement depuis le plus jeune âge et traversent différentes étapes avant de parvenir à pleine maturité vers l'adolescence.

Les travaux de recherches de ces dernières années ont montré que le développement des capacités attentionnelles est en lien avec la maturation cérébrale.

« Les processus attentionnels sont à la base du développement précoce des fonctions exécutives avant deux ans » écrit Bléandonu (96).

Vers 18 mois, l'enfant met en place des stratégies pour capter l'information nécessaire à l'action qu'il est en train d'exécuter.

L'éveil, l'attention soutenue, sélective et divisée sont indispensables pour la réalisation d'un geste juste et pour cibler une action.

**Il est à noter que la capacité attentionnelle, la quantité et la qualité à appréhender des informations sont variables en fonction de chaque enfant, cela devra être pris en compte dans notre activité de rééducation en neurologie centrale, chez les enfants dyspraxiques ainsi que les enfants de bas âges.**

Les enfants souffrant de troubles de l'attention (Dyspraxie, trouble de l'attention déficitaire et hyperactivité) peuvent avoir des difficultés dans les fonctions exécutives, cela a **un retentissement dans les gestes manuels, sur la motricité fine (incoordination) et globale, les praxies et les capacités d'apprentissage** (74).

### **2.4.1. Capter l'attention pour bien utiliser sa main.**



Adèle, 9 mois

Bombardé par de multiples informations sensorielles, l'attention permet à l'enfant d'acquérir des capacités à sélectionner, fixer une partie des entrées sensorielles pour réaliser une action. Elle permet aussi plusieurs fonctions liées au traitement de l'information. Focaliser son **attention** sur un élément particulier, amène de la **conscience**. Différents aspects attentionnels montrent qu'il existe un changement tout au long de l'enfance.

L'attention change avec l'âge parallèlement aux changements des fonctions cérébrales (96).

### Progression des stades d'attention.



a) L'**état d'éveil** est une mobilisation énergétique, il permet d'être **réceptif** de façon non spécifique à toute information intéroceptive ou extéroceptive. Des périodes d'éveil courtes après la naissance s'alternent avec des périodes de sommeil.

b) L'**attention visuo-spatiale** entre 3 et 4 mois, le bébé peut **désengager son attention et la réorienter**. Elle permet à l'enfant de s'orienter de façon sélective (74, 97). Elle est guidée en priorité dans une direction (Goldberg), par un **comportement orienté vers un but** et est nécessaire pour **le repérage d'une cible**. L'enfant la déplace d'un point à l'autre, la désengageant de son ancrage précédent.

Antérieurement, ce sont les stimuli externes qui capturent son attention, qui le font réagir de façon rapide et automatique.

« L'enfant surexcité par la nouveauté régule son état en désengageant son attention » écrit Susan. E. (96).

L'attention visuo-spatiale joue un rôle majeur dans l'apprentissage et sur la régulation des émotions dues aux informations sensorielles reçues (74, 96).

A la fin de la première année, (74) celle-ci est contrôlée volontairement de façon efficace grâce à la maturation des fonctions exécutives. L'orientation visuo-spatiale permet des adaptations de ses mouvements oculaires (fixation, saccades) (96).

La capacité de désengagement est en lien avec d'autres aspects du développement communicatif tels que l'attention conjointe vu précédemment (96).

c) **L'attention focalisée** est sollicitée lors de l'apprentissage avec un matériel nouveau. Elle est **focalisée sur un objectif**, un stimulus pertinent, l'enfant ne se laisse pas distraire par les autres cibles. La complexité de la tâche demande des efforts coûteux pour mobiliser des ressources cognitives. Une seule caractéristique (couleur, taille, orientation) permet à l'enfant de différencier le stimulus : **couleurs, formes, mouvements, il va attirer l'enfant**, la nouveauté le stimule (20).

A **6-7 ans**, l'enfant acquiert **une capacité d'exploration visuelle**, cela lui permet de s'adapter à la complexité des stimuli.

d) **L'attention soutenue** est une capacité à orienter son **intérêt intentionnellement de façon stable vers une ou plusieurs sources d'informations**.

L'enfant va la maintenir pendant une longue période et sans discontinuité. Ce type d'attention permet de détecter et de réagir à de petits changements. La concentration est nécessaire.

L'enfant de **4 ans** capable de se concentrer sur la résolution du problème pourra commencer des **jeux d'encastrement et de construction**.

**Lorsque les fonctions exécutives progressent, l'attention va croître.**

La volonté de l'enfant à réaliser une action et son intention personnelle vont augmenter son attention.

e) **L'attention ouverte, divisée, « Faire deux choses à la fois », la double tâche.** Elle a une progression régulière **de 6 à 11 ans**. C'est une habileté requise pour partager une attention sélective entre deux ou plusieurs sources distinctes, tout en détectant **des stimuli pouvant appartenir à une ou plusieurs de ces sources simultanément**. L'activité peut être attentionnelle ou automatique. L'attention peut mieux se diviser lorsque l'une des tâches requises a fait l'objet **d'un apprentissage antérieur**. L'enfant a d'abord besoin de regarder ce qu'il fait, après automatisation et mémorisation, il réalise une deuxième tâche aisément. Le contrôle proprioceptif du mouvement requiert qu'une attention diffuse. Cela lui permet de focaliser son attention sur autre chose. Par la répétition de la tâche le cerveau fonctionne à l'économie grâce à l'efficacité neurale. L'activité automatisée peu coûteuse facilite la gestion simultanée d'une autre tâche.

**Lorsqu'il y a un processus intentionnel, la mémorisation est meilleure que dans la réalisation d'un geste automatisé.**

Par exemple, un adolescent, lors de prise de notes, écoute et recopie une phrase au tableau, deux entrées visuelle et auditive permettront une réponse graphique en sortie. À partir d'une consigne lors de la prise de note, il existe un filtrage sélectif de l'attention, l'automatisation de l'écriture lui permet de mener à bien la tâche. La flexibilité mentale donne la capacité de l'individu à alterner entre deux tâches cognitives voire plus. Celle-ci progresse avec les fonctions exécutives de l'enfant (98).

#### **f) L'attention partagée.**

L'enfant se concentre sur plusieurs aspects en même temps, il retient l'ensemble, il donne une réponse en fonction des changements d'un des aspects. **Lorsqu'un enfant pointe sa main vers un objet, et que l'adulte nomme plusieurs fois celui-ci, l'enfant apprendra plus vite ce nom (67).**

Le contrôle attentionnel permet d'autoréguler, il est essentiel pour ajuster la vitesse d'exécution, pour garder toutes les capacités dans une tâche de précision. En fonction du rythme de la tâche, l'enfant peut perdre son objectif.

#### **Les étapes clés dans l'évolution de l'attention.**



#### **2.4.2. Les fonctions exécutives aux commandes du geste.**

Dès le plus jeune âge, la recherche manuelle d'objets cachés requiert les fonctions exécutives : planification, mémorisation et inhibition sont sollicitées.

Indispensable à l'apprentissage du geste, les fonctions exécutives initient l'action, et la préprogramme.

**L'enfant met en place des stratégies pour résoudre des tâches appropriées afin d'obtenir un but.**

**Les fonctions exécutives contrôlent tous les nouveaux apprentissages** lorsqu'une action sensorimotrice n'est pas automatisée, elles initient la prise de décision et l'anticipation.

Intention, initiative, planification, régulation active, décision permettent l'exécution.

Dès la première année de vie, les capacités exécutives émergent, elles se développent jusqu'à l'adolescence et mûrissent vers 25 ans, à l'âge adulte dans la zone orbito-frontale (99, 29).

**Le contrôle exécutif apparaît entièrement lorsque le cortex préfrontal a atteint la maturité structurelle de l'adulte.**

Les fonctions exécutives sont coordonnées aux cognitives et agissent en étroites **interactions avec la mémoire de travail et l'attention**. Celles-ci participent à l'inhibition (la capacité à interrompre une réponse lors d'un mouvement) à la flexibilité mentale et à la fluidité par son organisation dynamique en adaptant sa stratégie cognitive au cours d'un mouvement (100, 99). Elles permettent de **planifier** les actes volontaires, le raisonnement et interviennent dans la **motivation, la régulation** des émotions, **le contrôle** des impulsions et de la frustration.

La maturation des fonctions exécutives va permettre de développer **les performances de la mémoire de travail, de l'attention et de l'inhibition**, ce qui va permettre **la réussite de l'exécution de tâches complexes**. Elles ont un **rôle sur l'acquisition du langage et la motricité**.

**Avec l'âge, et l'entraînement, l'élaboration des tâches progresse.**

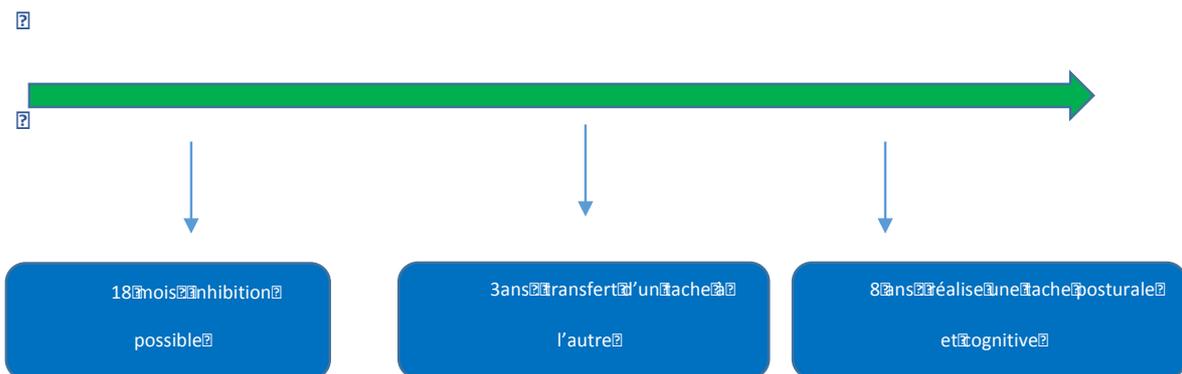
**Les exercices en rééducation seront adaptés et suivront une progression selon les fonctions exécutives de l'enfant. En neurologie centrale, elles sont aussi prises en charge par un neuropsychologue ou une orthophoniste.**

Il existe une coordination centrale avec la mémoire de travail selon le degré de complexité de la tâche exécutée. Les performances deviennent plus précises, sélectives, automatisées et adaptées à l'environnement. Leur capacité sera maximum à l'adolescence vers 17 ans.

L'âge de l'enfant et son intelligence déterminent ses capacités. Ses possibilités d'inhibition et de flexibilité mentale dépendent de ses performances cognitives et interviennent dans la résolution des problèmes (101).

D'après les travaux en neuroimagerie fonctionnelle, la progression des fonctions exécutives est en lien avec la maturation cérébrale, surtout dans les lobes frontaux (102). La maturation des voies préfrontales permettrait un développement lent des voies de contrôle, d'inhibition, de flexibilité et de stratégie aboutissant au dévoilement progressif des compétences logiques.

### Evolution des fonctions exécutives.



Entre 1 et 5 mois, les capacités d'inhibition croissent régulièrement et la mémoire de travail évoluent chez le très jeune enfant vers 6 à 12 mois (103).

Dès 12 mois, les enfants peuvent inhiber la réponse antérieurement apprise.

A 18 mois, la faculté d'inhibition permet au nourrisson d'organiser des réponses attentionnelles.

A 3 ans, la capacité à transférer son attention d'une tâche à l'autre débute et il suit un développement progressif jusqu'à l'adolescence.

A 3-7 ans, le processus d'inhibition se complexifie, il a des facultés d'autorégulation et de contrôle volontaire. L'enfant a davantage de mémoire de travail et peut davantage s'engager dans des capacités cognitives. Les progrès sont observés, les possibilités de contrôle attentionnel permettent un meilleur contrôle de la tâche.

A partir de 8 ans, l'enfant peut réaliser aisément une tâche posturale et cognitive.

A 15 ans, les ressources attentionnelles de l'adolescent ne sont pas suffisantes transitoirement pour qu'il contrôle une double tâche nécessitant un contrôle postural et une tâche cognitive (104).

Par exemple, pour la réalisation de gestes alternés, des enchaînements nécessitent l'inhibition d'automatismes. Ces séries de gestes sont facilement réalisables isolément, leur succession réclame un important contrôle attentionnel et l'inhibition doit être continue.

Des études ont défini qu'ils étaient **bénéfiques de stimuler les fonctions exécutives avec des gestes du quotidien** (104).

### 2.4.3. Comment mémoriser un geste ?



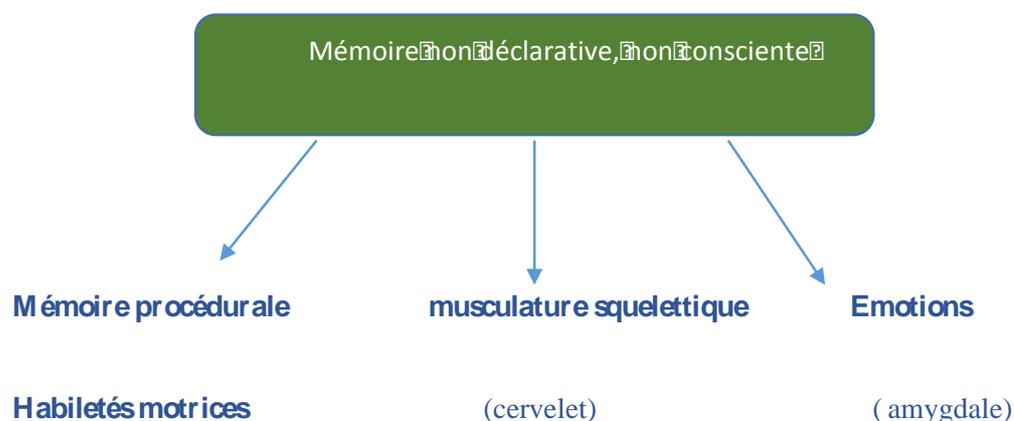
Photo 16 : « Une mémoire d'éléphant »

Les fonctions mnésiques sont très dépendantes des fonctions attentionnelles et exécutives. Des changements dans les zones du cerveau impliquées dans la mémoire apparaissent au cours des deux premières années. La maturation structurelle du lobe préfrontal est liée à la fonction mémorielle (26).

L'apprentissage permet l'acquisition de nouvelles informations tandis que la mémoire permet de conserver l'information requise. Tout au long de la vie, nous apprenons et mémorisons.

Le traitement et le stockage des informations se font différemment en fonction des types d'apprentissages. La mémorisation du geste engage la mémoire de travail et procédurale (Mémoire des habiletés motrices).

**Il existe des mémoires déclaratives (souvenirs des événements), facilement traduisibles par le langage, et des mémoires non déclaratives telle que la mémoire des savoir-faire encore appelée procédurale.**



Source : Livre « Neurosciences », 2016.

a) **La mémoire procédurale** permet l'apprentissage des savoir-faire, des apprentissages moteurs, des praxies et du langage. C'est **la mémoire de l'action** des procédures cognitives complexes. Elle engendre la planification, la mémorisation de l'action et la programmation des gestes. Elle est **très fiable et stable** et conserve **les habiletés même si elles ne sont pas utilisées**. Lorsque le sujet réalise un geste complexe, lors d'une activité qui fait appel à certaines habiletés perceptivo-motrices et cognitives, elle est requise. Elle est sollicitée lors de l'exécution d'une tâche et facilitée par les expériences préalables du sujet. **Elle n'a pas de récupération consciente et intentionnelle, elle n'est pas verbalisable**. Elle constitue une trame sur laquelle les informations, les données et les événements s'inscrivent.

Exemple : l'apprentissage du vélo.

Elle est efficace précocement chez le nourrisson et les **acquisitions majeures réalisées de 0 à 3 ans** avant la maturation des autres systèmes mnésiques en sont le reflet. Elle constitue le noyau des premiers apprentissages sensitivomoteurs, des gestes, de la parole grâce à l'expérimentation active et l'imitation. Elle se développe beaucoup durant **les 6-12 premiers mois de la vie** et atteint ses **capacités « adultes » vers 3 ans**.

Les aptitudes motrices que nous apprenons et les réflexes que l'on acquiert ont un caractère plus ou moins automatique, ils sont inconscients. Ils résultent au départ de l'expérience. **La mémoire procédurale se forme après un temps d'apprentissage conséquent, mettant en jeu de nombreuses répétitions. L'apprentissage des réponses motrices s'est réalisé en lien avec les feedback sensoriels.**

Dès la naissance et sans doute avant, les stimuli sensoriels modifient le fonctionnement et l'organisation du cerveau (20). Des études de 2012 décrivent que la mémoire tactile est faible et fragile à 2 mois, puis se renforce à 4 mois. Bien que l'enfant n'ait pas des capacités mnésiques conscientes, il est capable de reproduire des actions grâce au **phénomène d'habituation** (16). Le nouveau-né apprend très tôt à reconnaître les visages et les objets de son entourage.

En comparaison, le cerveau du singe devient mature plus tôt.

La mémoire est fondamentale pour le développement cognitif.

b) **La mémoire déclarative** permet de mémoriser une connaissance, un événement de la vie, des souvenirs en fonction de notre expérience personnelle (autobiographique, affective).

L'émotion, la réactivité, la peur et le stress sont pris en considération et informent le système limbique. L'hippocampe enregistre tout ce qui est en lien avec l'affectif.

L'harmonie affective est une atmosphère positive pour la mémorisation et les apprentissages moteurs.

**La mémoire procédurale et la mémoire déclarative sont en lien.**

### c) Les mémoires à court terme et à long terme.

La mémoire de travail est une mémoire à **court terme**, elle est très limitée en capacité, transitoire et nécessite **la répétition**. Elle traite les informations des données en temps réel, sollicite les capacités attentionnelles et de sélectivité et donne **la possibilité d'exécuter une tâche. Le délai se compte en secondes**. C'est un système, un processus qui sous-tend le stockage d'informations verbales et visuo-spatiales, il est en lien avec la vision et l'écoute.

Le système sensoriel, les fonctions attentionnelle et exécutive, l'âge, la motivation de l'enfant, son état émotionnel et son expertise dans un domaine sont des facteurs influençant la mémoire de travail.

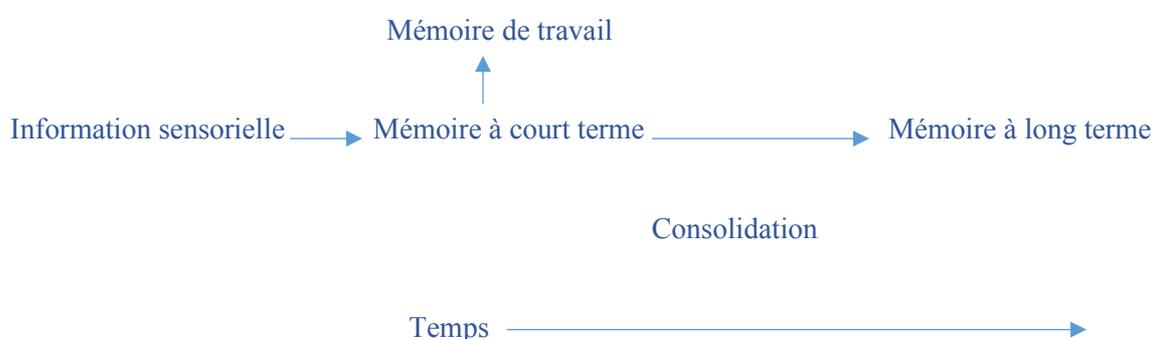
L'enfant développe sa **mémoire de travail vers 8 ou 9 mois**, elle est essentielle pour résoudre le quotidien de l'enfant.

Un lien étroit existe avec les fonctions exécutives : plus l'enfant est capable de planifier et contrôler ses actions, plus il devient à même d'utiliser les stratégies de mémorisation pour mener à bien une tâche. La mémoire de travail est un des éléments constitutifs des fonctions attentionnelles et exécutives. Celle-ci réalise un tri et peut s'inscrire en mémoire à long terme par la répétition et à travers un processus d'encodage.

La mémoire de travail visuelle et/ou visuo-spatiale donne une base d'informations visuelles lors de la comparaison d'images mentales et lors des tâches de rotation mentale. Elle sera par exemple fortement activée lors des exercices de reconnaissance de latéralité.

La mémoire est utilisée lors des habiletés manuelles de l'enfant, pour le dessin, et pour le geste d'écriture. Il existe un répertoire visuo-spatial pour la mémorisation des dessins géométriques et un autre praxio-spatial pour le codage des mouvements dans l'espace.

**Les capacités de mémoire de travail visuo-spatiale s'améliorent de 5 à 8 ans** et évoluent au cours de l'adolescence et à l'âge adulte.



La mémoire à long terme engage des souvenirs tandis que la mémoire à court terme permet un stockage temporaire. Trois systèmes de rétention à long terme existent : la mémoire sémantique, épisodique et procédurale.

Un processus d'encodage, de consolidation, et de récupération permet la réutilisation d'informations.

La mémoire à long terme emmagasine les connaissances et des souvenirs de manière organisée au fil du temps, ils seront encore présents après plusieurs heures, jours, mois ou années.

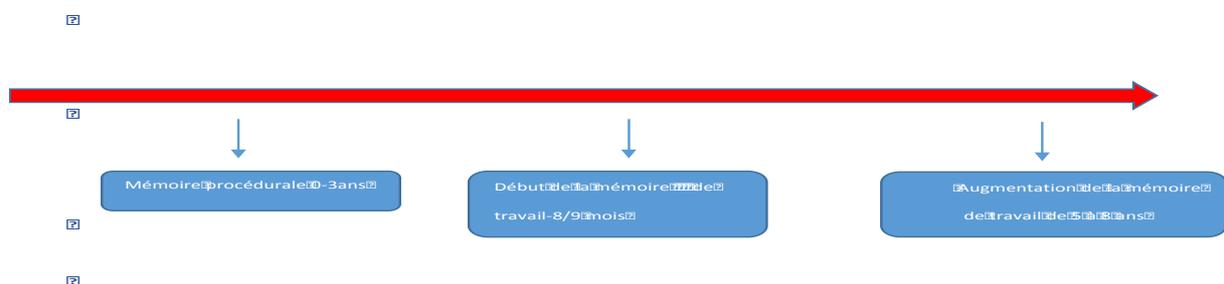
À l'école, l'apprentissage intentionnel la mobilise.

#### d) La mémoire musculaire.

Maria Montessori parlait de « mémoires des muscles accomplis », de mémoire musculaire. Elle enseignait l'apprentissage de l'écriture en préparant les gestes avec des lettres en bois rugueuses qui développaient aussi la sensibilité discriminative de la main de l'enfant.

D'après des études récentes dans le cadre d'une recherche manuelle d'objets cachés, il est décrit qu'une mémoire corporelle pourrait exister. L'enfant se souviendrait des actions passées et des gestes précédemment exécutés grâce à des routines motrices. Ces actions seraient déclenchées par des signaux environnementaux, par des processus attentionnels voire automatiques. D'autres travaux décrivent des bases neurales de la mémoire motrice (105,106).

#### Evolution de la mémoire.



#### **2.4.4. Apprendre grâce aux neurones miroirs.**

L'imitation est un processus important pour le comportement humain, surtout en matière d'interaction sociale. « Imiter consiste à relier ses patterns moteurs à ceux de l'autre, l'imitation constitue une sensibilité partagée dès la naissance » (107).

Dès les premiers jours de sa vie, l'enfant réalise acquisitions sur acquisitions sans effort, en un temps très rapide. Très tôt, il est capable de trois imitations, il imite des grimaces de l'adulte : un mouvement de la bouche, une ouverture de bouche et la moue et une protrusion de la langue (108, 16).

Identifiés dans les années 1990 par Rizzolatti lors d'une expérimentation sur des singes, les neurones miroirs sont porteurs de nouvelles compréhensions dans le domaine des neurosciences et de l'apprentissage. Les neurones miroirs sont à la base de l'imitation, de la compréhension de l'intention de l'autre, de la signification de ses actes. Ce système est à l'interface entre la **cognition sociale, la communication et l'apprentissage gestuel chez l'enfant.**

**Les neurones miroirs participeraient à l'apprentissage de l'enfant.**

Deux sortes d'informations sont prises en considération : ce que l'autre fait et pourquoi il le fait.

« L'activation du circuit miroir est essentielle pour donner à l'observateur une compréhension réelle de l'action qu'il voit lors de l'exécution d'un geste et lors de l'observation d'une action effectuée par une autre personne » écrit Rizzolatti.

**Les neurones miroirs interviennent aussi dans ce sentiment d'empathie.** Il participe au décodage et la reconnaissance des émotions d'autrui (38, 110).

Ils sont à la base de la cognition sociale et ont un rôle dans le développement de l'enfant. « Cette capacité à se mettre à la place d'autrui » va permettre de percevoir la même émotion. Cela incite l'enfant à imiter les gestes et les attitudes de l'autre. **L'empathie met en relief la construction mutuelle et dynamique stimulée par la relation.**

Dès un an, les jeunes enfants aident les adultes à ramasser un objet, à ouvrir une porte. Par empathie, ils continuent leur apprentissage (38).

**L'empathie demande de l'attention à l'autre,** un ressenti intérieur, elle engage une émotion. Celle-ci se traduit en action par le biais du corps. **Le savoir-faire des premières acquisitions est en lien avec les premières relations développées.** L'enfant appréhende le monde à travers le regard et les réactions de ses proches : souvent les parents. La perception du nouveau-né lui amène un savoir, une expérience. Le savoir-faire se transmet prioritairement en immersion culturelle et familiale. Des études actuelles cherchent à montrer l'impact de la culture sur les apprentissages de l'enfant (20).

Du geste au savoir pratique, de l'expérience aux connaissances, des règles à la culture, les neurones miroirs accompagnent notre quotidien.

« Les liens précoces qu'établit l'enfant entre ce qu'il perçoit et ce qu'il fait ou ce que d'autres individus font contribuent grandement au développement de l'imitation et des apprentissages sensorimoteurs qui jalonnent les différentes étapes de la vie » écrit C. Assaiante.

Dès 6 mois, les enfants peuvent imiter des actions simples.

La première année, l'enfant organise ses actions et les interactions sont en lien avec les objets et les personnes en face de lui. La complexité d'une tâche influence cependant l'imitation, même chez les enfants de 5 ans (111).

L'imitation est une source potentielle d'apprentissage de nouveaux gestes, le bébé est très compétent à cela, « les enfants collectent des informations sur les actions, les résultats, les buts des démonstrateurs ainsi que sur le contexte dans lequel se déroule la démonstration. Ils combinent tous ces éléments pour savoir quels aspects de la démonstration il est utile de copier » écrit Petit et Pascalis.

M. Montessori (1870-1952), reconnue dans le monde de l'éducation, écrivait « l'enfant montrait une tendance à l'imitation, en tout temps, on a dit que les enfants imitaient » « et ajoute que « l'homme doit comprendre avant d'imiter »... « si l'on désire que l'enfant devienne pianiste, chacun sait qu'il ne suffit pas pour cela d'imiter celui qui joue du piano, il doit préparer sa main » (79).

L'apprentissage par observation permet d'anticiper le résultat et de reproduire la configuration globale. Lorsque l'enfant observe une autre personne réaliser une action, l'ensemble de ses neurones miroirs qui encodent l'action est activé au niveau cortical. Ce mécanisme entre la perception et l'action transforme une information sensorielle du comportement d'autrui en représentation motrice du même comportement dans le cerveau de l'enfant (112).

C'est réellement à l'âge de 18 mois qu'il sera capable d'imiter le geste d'un adulte. Il développe à cet âge une capacité altruiste. **L'imitation des gestes** ou des postures prises par un adulte, un enfant ou une poupée est possible à partir de 18 mois (89, 113), elle est maximale entre 12 et 18 mois.

Grâce aux neurones miroirs, se transmettent les gestes propres à notre culture.

En acquérant des connaissances, des habiletés et du savoir-faire, au-delà du patrimoine universel dont il est doté, le petit enfant s'inscrit dans un groupe culturel, une société. L'imitation joue un grand rôle à cela.



Kotone, 3ans, japonnaise



Kotone, et Aimé franco-vietamien

À partir de 4 ans, l'enfant se met mentalement à la place de l'autre, il comprend la signification de la plupart des objets présentés, les images vont influencer sa plasticité cérébrale par leurs contenus.

Avant 4 ans, il n'a pas cette capacité de représentation.

**Les neurones canoniques** sont excités à la saisie d'une pomme par exemple. A la simple vue de la pomme, ces neurones vont s'activer mais sans action (4).

#### **2.4.5. L'apprentissage moteur.**

« C'est au cours de l'enfance que se met en place le répertoire de base des habiletés manuelles sur lesquelles s'élaborent les coordinations d'un plus ou moins haut niveau de maîtrises observées à l'âge adulte » écrit J. Fagard.

L'apprentissage moteur est essentiel à l'acquisition de ce répertoire. Il repose sur plusieurs théories d'apprentissage. Elles seront des ouvertures pour rééduquer les enfants aux mouvements et aux gestes.

#### **La théorie cognitive :**

a) Le mouvement est régi par le système nerveux. L'apprentissage permet la mémorisation, l'automatisation se crée par **la répétition**. Le contrôle, **la succession des essais et erreurs** nourrissent les systèmes de mémoire et permettent à l'enfant de s'améliorer. Il construit **une représentation** pour élaborer un plan d'action. L'apprentissage par essai/erreurs est couramment utilisé à l'école (44). **L'enfant exécute des actions volontaires**. Des **indices verbaux** sont nécessaires surtout s'il est jeune (avant 6-8 ans). L'observation seule ne permet pas d'obtenir certains paramètres précis du mouvement, surtout en ce qui concerne des aspects spatiaux. Les éléments moteurs du geste et les caractéristiques fines des mouvements sont **verbalisés**, expliqués pour que la pratique soit plus efficace (44). Le résultat est meilleur si

l'observation est **combinée aux indices verbaux et à la pratique physique**. Des **repères sensoriels** et l'analyse verbale de la tâche peuvent aider l'enfant à la mémorisation. La **verbalisation d'une action peut passer par des analogies voire des métaphores**.

Elles donnent une référence à la forme globale du geste et facilite **une représentation mentale** ainsi que la **mémorisation d'actions** successives.

L'apprentissage varie aussi selon la **conscience corporelle de l'enfant**.

**La pratique associée à une démonstration et/ou de la verbalisation facilite l'apprentissage.**

Expérimenter, répéter permet de développer des aptitudes et de la compréhension, il permet d'acquérir de nouvelles expériences.

b) L'apprentissage peut aussi se faire par **observation, imitation de façon volontaire et consciente**. Ces instructions nécessitent de la part de l'enfant, un travail, **un effort cognitif**.

**Au fil des répétitions**, le geste va devenir facile, aisé, **économique** sur le plan cognitif et **automatisé**. Le contrôle de la tâche par le sujet reste **sous contrôle attentionnel**. Les opérations automatisées sont devenues des situations routinières. L'activité corticale est devenue spécifique.

Une fois automatisé, le geste est stocké puis engrammé dans la mémoire procédurale. La double tâche peut être réalisée plus facilement.

D'après Eric Kandel, la stimulation des enfants influe sur la formation de synapses. Les liens synaptiques entre les neurones peuvent être modifiés **par l'expérience consciente et inconsciente** (112). L'entraînement d'un enfant conduit à un meilleur développement de ses synapses. Le phénomène de **plasticité corticale** est engagé avec **la répétition** de l'action volontaire et à **l'observation du mouvement réalisée par une autre personne** (112) grâce aux neurones miroirs.

L'apprentissage agit sur les circuits neuronaux et dirige le comportement moteur final (112).

Le sommeil favorise la consolidation de la mémoire procédurale lors de l'apprentissage de séquences motrices (Albouy, 2008).

**La théorie dynamique de l'apprentissage moteur :**

Même si le cerveau existe, celui-ci n'est pas indispensable à l'amélioration des performances, l'apprentissage moteur émergerait directement de la **confrontation aux contraintes liées à la tâche, à l'organisme et à l'environnement**. Cet apprentissage serait dû à un **conditionnement**.

La **coordination musculaire** entre les différents segments corporels évolue pour répondre aux contraintes de la situation. Le contrôle cognitif ne serait pas indispensable à cette évolution.

Le geste doit acquérir des critères de flexibilité et de variabilité qui permettent l'adaptation aux circonstances et à l'environnement. Les gestes sont devenus habituels.

**Par habitude et sensibilisation, l'apprentissage s'est réalisé.**

### La théorie écologique de l'apprentissage :

**Par contact avec l'environnement**, un **couplage perception-action** permet d'envisager ce qui va se passer ainsi que les possibilités d'actions liées à l'objet (affordances), d'apprécier les trajectoires, et donne des possibilités de mouvement.

**La théorie développementale** est une **approche comportementale**. Confronté à la tâche, il est possible de développer des **compétences motrices efficaces**. Cela donne des habiletés fondamentales, la dissociation des différentes parties du corps s'améliore, augmentant la précision et l'efficacité.

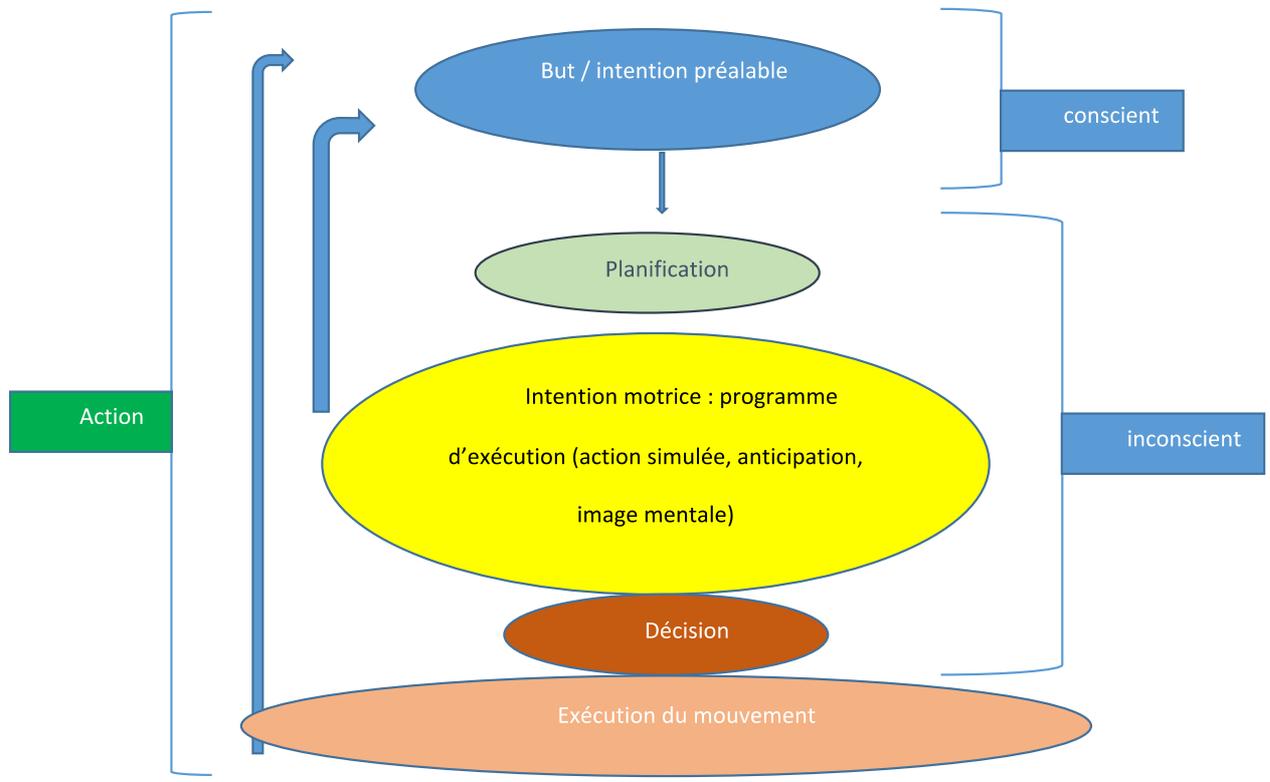
## **2.5. Du mouvement aux gestes.**

**Tout geste comprend une composante motrice et une cognitive.**

**Les aspects cognitifs du geste comprennent tous les aspects préparatoires à l'action.** Ces aspects cognitifs ont été décrits par Jeannerod en 1991 et 2009, et analysés dans les travaux de Berthoz (1997) (114). De ce fait, la conception et l'élaboration du geste sur le plan cognitif sont mieux définies. Le cerveau anticipe la plupart des gestes et des comportements. La réalisation d'un geste implique **une intention motrice, une planification, une anticipation des conséquences de l'action**, puis une **programmation et une étape d'exécution**. L'anticipation des conséquences sensorielles du mouvement repose sur l'activation des **modèles internes de l'action**.

L'enfant, par une intention, en fonction d'un **but précis**, va progressivement se représenter les effets et contrôler sa réalisation. Le contenu de ses représentations intègre le but final, les connaissances sur l'environnement, les usages des outils et les usages culturels. Le schéma corporel a aussi son influence.

## Le geste.



D'après un schéma inspiré du livre de M. Mazeau « Neuropsychologie et apprentissage moteur chez l'enfant »

L'action découle d'une représentation interne construite par l'enfant et est dirigée par un but, par l'intention (78).

### **2.5.1. L'intention d'agir est consciente.**

Les fonctions exécutives contrôlent la prise d'initiative, l'évaluation des objectifs, elle met en action le **cortex préfrontal**. Elles sont reliées au système de récompense, de plaisir et à la **motivation** de l'action. Celle-ci est dépendante de l'état émotionnel et affectif de l'enfant.

**Le niveau intentionnel est le moins influencé par les contraintes environnementales.**

**Motivation à la découverte, plaisirs, affectivité, empathie sont chez l'enfant de grands moteurs d'apprentissages et d'exécutions.**

### **2.5.2. La phase de planification.**

Elle met en jeu une gestion temporelle. Ces régulations précoces et rapides sont effectuées à partir de la **simulation anticipatrice** afin d'obtenir le résultat voulu. Elle a lieu avant la réalisation du geste, elles sont **proactives** et reposent sur un modèle interne. Cette phase est **inconsciente**. Anticiper permettra une correction en cours d'exécution si le mouvement est suffisamment long.

**2.5.3. La programmation motrice de l'action ou la représentation motrice se réfère à l'organisation motrice et spatiale du geste.**

D'après Jeannerod, il existe une **continuité fonctionnelle entre une action exécutée et une autre simulée mentalement** (115). Lorsqu'une représentation est formée, l'action est déjà enclenchée, qu'elle soit physiquement réalisée ou pas. C'est une **activité prédictive** qui permet une véritable exécution de l'action, même si l'aboutissement ne conduit pas à celle-ci (78, 115).

**Les mouvements imaginés, l'observation d'objets manipulables, d'actions réalisées par un tiers, la compréhension des verbes d'actions, impliquent une simulation motrice. Les représentations mentales découlent de celles-ci, et se situent juste avant l'exécution motrice (78,115).**

**La programmation motrice du geste** intègre spontanément les buts, **les conditions environnementales (état du corps, contraintes biomécaniques et visuo-spatiales) et les outils éventuels à utiliser**. Les informations spatiales sont automatiquement intégrées au geste.

**Pour une saisie manuelle**, d'après Jeannerod (2009), il existe une préformation progressive de la main au cours du mouvement de son transport vers l'objet. Sa forme, sa taille, son orientation et son usage donnent des informations au système visuel, aux aires visuelles. Cela permet l'anticipation du mouvement de saisie, produit un mouvement des doigts corrélé à la taille de l'objet. En fonction du type de prise à programmer, des mouvements uni ou bimanuelles, le cerveau est informé. La programmation de tous les paramètres permettra l'exécution précise du geste grâce à de nombreux feedback sensoriels informés. La distance, la force, l'amplitude et la direction sont prises en compte pour la mise en forme de la main.

**2.5.4. La décision d'agir est prise**, la réalisation est **coordonnée dans le temps et l'espace** et les ajustements posturaux permettent **l'exécution effective de l'action**. **Des feedback vestibulaire, proprioceptif, visuel**, des ajustements automatiques par rapport aux déplacements dans l'espace ont lieu. **La dernière phase avant le geste comprend la décision de passer à l'acte, d'agir, de transformer la simulation anticipatrice en acte effecteur.**

### 2.5.5. L'exécution du geste.

Le siège de départ de la commande motrice est le cortex moteur primaire, où converge la commande du mouvement préalablement élaborée. La réalisation du geste provoque des **perceptions réelles sensorielles**, kinesthésiques, proprioceptives, vestibulaires. Le geste se conçoit et se déploie dans un espace.

**Le contrôle du mouvement permet sa fluidité, sa précision et l'ajustement en temps réel en fonction de l'environnement et des conditions de réalisation de l'action.** Les perceptions visuelles informent le système sur son état actuel et les informations en retour permettent des corrections et des ajustements.

**Les déplacements globaux et segmentaires sont coordonnés et réglés, les régulations posturales**, les différentes **contractions musculaires**, la chronométrie fine et l'organisation spatiale participent à la précision du geste.

**L'activité motrice** doit être harmonieusement distribuée pour une bonne réalisation du geste, les modalités de participation de chaque muscle sont fixées dans un cadre général de l'activité musculaire (Kabat) et répondent à une tâche déterminée. Le choix des muscles, pour un geste donné résulte d'opérations complexes.

**La posture** stabilise et permet le mouvement du bras, de la musculature fine et ceux de la main. De multiples gestes spécifiques peuvent être réalisés, les effets des membres, du tronc et de la main se cumulent. La main peut être bougée avec précision, force et rapidité pour s'adapter à l'outil.

Certaines habiletés manuelles font intervenir une grande précision de coordination et amènent une séquence de gestes très fluides et précis.

### 2.5.6. À quelle période l'enfant a-t-il accès à l'imagerie motrice et mentale, et à la reconnaissance de latéralité ?

D'après les travaux de J. Guilbert, le remaniement des structures cérébrales amènerait une modification des modèles internes de l'action, et celui-ci retentirait sur le développement de la capacité d'imagerie motrice, dans le contrôle prédictif de l'action (78).

L'amélioration de l'imagerie motrice est en lien avec la capacité à traiter et intégrer les différentes informations sensorielles.

L'imagerie motrice peut être interne ou externe :

Lorsqu'elle est interne, le sujet évoque une image kinesthésique de soi en action, elle suppose une connaissance réelle antérieure du geste à exécuter.

L'image motrice externe peut être consciente à partir d'une action de notre corps en mouvement, **l'observation d'un tiers qui exécute des mouvements et la vue d'un objet manipulable (4).**

**Imaginer des actions, reconnaître des outils manipulables, apprendre par observation d'un tiers, donner du sens aux conduites motrices d'autrui sont possibles grâce à l'intervention de l'imagerie motrice.**

Les verbes d'actions et les mouvements exécutés par une personne participent à la simulation mentale.

L'imagerie mentale est le prolongement de la perception et découle d'une activité sensorimotrice intériorisée.

L'imagerie motrice est une forme particulière de l'imagerie mentale au sens plus large, dans la mesure où elle consiste en la représentation mentale d'un mouvement.

L'amélioration de l'imagerie motrice au cours de l'enfance repose sur la capacité des enfants à traiter les informations sensorielles pour guider et contrôler l'action réelle. Les relations entre imagerie motrice et habiletés motrices se renforcent avec l'âge des enfants.

D'après Jeannerod, toute action est précédée d'une représentation du but à atteindre qui guide nos mouvements. L'imagerie motrice est un moyen d'accès privilégié au contenu des représentations motrices.

**L'imagerie motrice et l'exécution impliquent les mêmes mécanismes de prédiction de l'action**, ils sont les dérivés de l'activation de modèles internes du mouvement. La réactualisation des représentations internes de l'action sous-entend l'efficacité de l'anticipation, et la maturation se déroule lentement au cours de l'enfance (63).

Il existerait un lien entre l'imagerie motrice et le modèle interne de l'action (117).

La reconnaissance de latéralité permet de réaliser des rotations mentales. L'attention visuo-spatiale est sollicitée et cette reconnaissance faite référence au schéma corporel (134).

**La représentation mentale développe la coordination et la mémorisation du geste**, l'exercice réel physique améliore l'habileté manuelle.

	<b>Imagerie motrice</b>	<b>Image mentale</b>
<b>5 ans</b>	<p>L'œil est prépondérant.</p> <p>L'enfant s'appuie sur des modalités sensorielles visuelles et auditives pour créer une image de soi en action.</p> <p>Il a peu de possibilités de traiter les informations motrices.</p> <p><b>Les capacités d'imagerie motrice sont émergentes</b> et ne sont pas disponibles pour tous les enfants.</p> <p>La simulation mentale est imprécise.</p> <p>Le mouvement fonctionne selon un mode proactif.</p>	<p>L'enfant est capable de produire les images cinétiques, d'imaginer le soi en action.</p> <p>Le processus de rotation mentale débute.</p> <p>L'enfant peut évoquer l'image mentale statique du résultat du mouvement.</p>
<b>7 ans</b>	<p>La capacité d'imagerie motrice est en progression.</p> <p>La simulation mentale de l'action augmente de 8 à 12 ans.</p> <p>L'amélioration de la proprioception et son traitement se développent.</p> <p>La capacité à évoquer mentalement les conséquences proprioceptives de l'action émerge.</p> <p>Les réafférences visuelles ne sont pas intégrées aux informations proprioceptives en mouvement. Il existe un contrôle rétroactif.</p> <p>Les informations sensorielles découlent d'un mouvement réel et participent à l'imagerie motrice, celle-ci dépend du mouvement réel.</p>	<p>L'évocation mentale d'un mouvement sera difficile avant 7-8 ans.</p> <p>L'enfant commence à se détacher des informations perceptives immédiates pour anticiper.</p> <p>La complexité des images mentales s'accroît.</p> <p>Les enfants commencent à évoquer mentalement un mouvement et des transformations sans les avoir réalisées réellement.</p> <p>A 7-8 ans, l'imagination d'un résultat, l'image dynamique d'un résultat est plus facile que le mouvement réel.</p>
<b>9ans</b>	<p>L'enfant intègre les différentes informations et les rétroactions : kinesthésique, visuelle, auditives proprioceptive lorsqu'il évoque mentalement le déplacement du corps.</p> <p>La capacité d'imagerie motrice est effective.</p> <p>Le contrôle pro et rétroactif, le contrôle devient prédictif.</p> <p>L'imagerie motrice peut s'appuyer sur la participation de ces différentes modalités.</p>	<p>Aucune différence de temps n'est mesurée entre le mouvement réel et le mouvement imaginé.</p> <p>Les enfants intègrent la contrainte spatiale.</p>

9-10ans	<b>La représentation motrice s'ajuste.</b> <b>À l'âge de 10 ans, il intègre la contrainte de la tâche.</b>	La simulation mentale gagne en précision et prend en compte la contrainte de la tâche.
12 ans	<b>Les exercices de reconnaissance de latéralité sont faciles à exercer</b> si elles sont présentées dans une posture biomécanique possible. La capacité d'imagerie motrice n'est pas achevée. Elle se développe jusqu'à l'adolescence, période marquée par des remaniements de l'action.	<b>À partir de 11 ans, l'imagerie mentale</b> est d'autant plus importante que le geste fait partie du répertoire de l'enfant. L'expérience a des effets sur l'imagerie mentale. Celle-ci est plus efficace couplée à la pratique physique.

### « Le langage au bout des doigts »

D'après des recherches récentes, les mots d'actions, des phrases et les verbes d'action reposeraient sur les mêmes structures motrices que celles qui supportent l'exécution de ces actions. Il y aurait des interactions bidirectionnelles entre le langage et l'action (Cf Le langage aux bouts des doigts, p 51, p 91). Les mots d'action activent sélectivement les régions motrices, et l'activité de ces régions participe au traitement de ces mots. La force exercée par les doigts sur un objet est influencée par l'écoute de verbes d'action (118, 119,120).

Une passerelle entre le langage et le système moteur existerait et permettrait une simulation motrice, cela représente une nouvelle ouverture dans le domaine de la rééducation.

### 2.6. Les praxies.

Des expériences répétées et les apprentissages sont générateurs de praxies. Elles permettent d'agir sur l'environnement grâce à une activité motrice **selon un but défini**. Des représentations intériorisées d'actes successifs sont nécessaires pour atteindre un but (51). **Le développement des praxies a lieu progressivement chez l'enfant. Il les conserve toute la vie à condition de les entretenir par un minimum de répétitions.**

Facultatifs pour l'espèce, ces apprentissages reflètent le milieu familial et culturel dans lequel grandit l'enfant. Ils ont lieu avec les activités de la vie journalière et sociale (habillage, laçage, repas, salutation, culte) et ils déterminent l'appartenance à une communauté. Ils dépendent aussi de l'époque et du lieu. **Les praxies sont donc différentes d'un enfant à l'autre en fonction du contexte social, familial, culturel et de la communication non verbale.**

**Les praxies** dépendent de la **coordination volontaire des mouvements orientés vers un but conscient et dirigé**. Elles résultent d'un **apprentissage**. Elles ne sont ni réflexes, ni acquises de façon innée. L'exécution

du geste est précédée de la représentation du geste à accomplir. La motivation et la compréhension de la situation sont nécessaires. Les praxies permettent par un processus de planification d'établir un programme moteur, de conceptualiser, d'exécuter certaines activités ou séquences motrices nouvelles (85).

La marche automatique est universelle. Cependant les habiletés manuelles s'adaptent aux différences culturelles, elles nécessitent une éducation. Imitation des gestes, empathie, stimulation et apprentissage en fonction des continents amènent à manger, écrire, se laver différemment.

**Dès la première année de sa vie**, adapté à ce que l'enfant a choisi d'exécuter, le contrôle des mouvements désormais organisés va lui permettre d'effectuer **un geste orienté vers un but à atteindre**. L'acquisition des trois phases de la préhension est nécessaire : phase de transport, d'ouverture (de préhension ou de palpation) et phase de relâchement. La coordination visuo-manuelle est une aptitude cérébro-motrice innée, et aide au transport de la main, à l'ouverture et au développement de la préforme pour atteindre un objet à saisir.

**Chaque nouvelle étape du développement des praxies augmente le répertoire de gestes de communication et d'interactions avec les objets**. L'enfant augmente son répertoire de façon qualitative et quantitative avec le temps, ce qui lui permet de mieux maîtriser son environnement. L'enseignement de nouvelles habiletés demande des répétitions et de l'entraînement.

**Au cours du développement**, les représentations de l'action se construisent sur la base d'informations sensorimotrices renvoyées à partir du corps en action. Celles-ci sont liées au développement de la fonction d'anticipation (121, 122). Le développement des praxies s'effectue progressivement chez l'enfant.

**L'élaboration du programme** s'appuie sur des informations intracorporelles (proprioception) et sur des informations extracorporelles (visuelles, tactiles, auditives) que procurent les sens. L'intégration des sens précède l'élaboration des praxies de façon plus ou moins importante en fonction de la tâche à exécuter (L'écriture, le dessin).

A 11 ans, les praxies sont à peu près matures dans l'ensemble des activités quotidiennes et scolaires. Des nouvelles préhensions et le contrôle de la posture se sont modifiés avec le temps.

L'écriture, les gestes pendant le repas et la toilette sont des praxies majeures du développement de l'enfant. Ces praxies seront développées succinctement.

### 2.6.1. L'écriture.

L'écriture manuelle nécessite un long apprentissage, elle permet de communiquer ses idées, ses pensées, d'accéder à la connaissance, de l'organiser et de restituer celles-ci.

Elle a un rôle dans la mémorisation.

**L'écriture permet de laisser une trace, elle a précédé le langage dans l'évolution de l'espèce.**

Chez l'humain, elle lui succède.



. Artur, 11 mois.

L'apprentissage de l'écriture est une **activité motrice complexe**, elle requiert de nombreuses **coordinations simultanées**, qui vont peu à peu s'**automatiser** et se stabiliser grâce à la **répétition**. L'enfant passe à un plaisir de l'action à **gribouiller** à un plaisir conscient, de plus en plus maîtrisé pour accéder à l'**écriture** et sa **représentation**. L'écriture nécessite l'exécution de tracés volontaires, une observation fine, et la discrimination de formes. Un bon nombre de capacités motrices pour construire le geste moteur est bénéfique : **un bon contrôle postural, une latéralisation acquise, une organisation spatiale (espacement), un contrôle oculaire (discrimination visuelle), une habileté manuelle** (123).

La coordination visuo-manuelle, le traitement langagier et cognitif va permettre son apprentissage. Celui-ci sollicite l'attention auditive et visuelle, une intégration visuo-motrice et de la mémoire. La connexion entre le langage écrit et oral est essentielle pour permettre à l'écriture de devenir un moyen de communication. Il existe aussi souvent une interaction entre les progrès de la lecture et de l'écriture. A partir du graphisme issu de traditions culturelles et d'époques variées, l'enfant dessine et se constitue un répertoire d'images, des motifs divers, des couleurs, qu'il va apprendre à reproduire, assembler et organiser à des fins créatives.

**Vers la fin de la première année**, des manipulations plus complexes apparaissent. Des coordinations motrices sont nécessaires pour l'écriture.

Des gestes grapho-moteurs, « les gribouillis » aux normes calligraphiques, l'écriture va peu à peu se personnaliser. Au cours de la deuxième année, puis de la troisième année, le graphisme apparaît (51).

**De 18 à 24 mois**, l'enfant contrôle le geste manuel de l'acte graphique, il gribouille et commence à contrôler volontairement sa trace. Il tient **son crayon à pleine main**, la pince pouce-index n'est pas encore acquise. Ce

stade se caractérise par un mouvement large et ample. **Le mouvement s'organise à partir de la partie proximale de l'épaule et du bras.** Au départ, il n'a pas de limites spatiales, le mouvement se rapproche du corps ou s'en éloigne. Les mouvements sont peu contrôlés dans le gribouillage. L'enfant se sert de ses deux mains de façon indifférenciée. La dominance latérale n'est pas complètement déterminée. Les tracés sont d'abord situés **dans l'espace où se situe l'outil scripteur.** L'aspect directionnel est encore confus. Les gribouillis ne permettent pas encore de représentations.

Dans le graphisme, des crispations, des contractions excessives dans le mouvement volontaire peuvent être visibles. La prise de conscience de celles-ci permet de mieux les contrôler (51).

L'apprentissage du contrôle de la force se réalise en saisissant par exemple des objets en papier.

**La commande de la prise du crayon et l'approche de la feuille** sont deux phases essentielles.



Noemie, 3ans

**Entre deux et trois ans,** le coloriage, la peinture au doigt et au pinceau sont des activités favorites. Le dessin et l'écriture ne sont pas encore différenciés.

**Le contrôle visuel de 2 à 3 ans : la coordination visuo-manuelle** nécessite une certaine aptitude manuelle, une **perception visuelle, un traitement des informations kinesthésiques et proprioceptives** et une bonne capacité à **contrôler le mouvement.** L'enfant réalise souvent son mouvement à partir de l'avant-bras avec le poignet plié. Les coordinations utilisées pour toutes traces graphiques nécessitent un certain degré de précision. L'œil va suivre la main puis la guider. Grâce au contrôle visuel, le tracé fait apparaître ses premières formes. L'enfant effectue peu à peu des traits verticaux, horizontaux, des lignes brisées, des boucles mêlées, puis des courbes et réalise souvent des balayages. Traits légers, appuyés vont permettre d'exercer la pression de son geste. Peu à peu, **la représentation mentale du graphisme** apparaît (51).

**Vers 3- 4 ans,** l'enfant occupe l'espace graphique, ses tracés sont réalisés sur l'espace entier de la feuille. Ces **gestes sont croisés,** la **coordination de mouvements de l'épaule et de la main** se met en place, l'enfant peut réaliser des boucles. Le **fléchisseur du pouce** commence à être suffisamment fort pour la **prise tri-digitale.** Le pouce permet de freiner le tracé et fragmente le geste.



Lucas, 3 ans

L'enfant par une action combinée du contrôle gestuel et visuel va pouvoir anticiper, freiner et reprendre son tracé. Il maîtrise le point de départ et d'arrivée. Les formes fermées tels que les ronds, les carrés... sont réalisées. Il porte de l'intérêt à son tracé et son geste est devenu autonome, prend conscience que le dessin représente les caractéristiques de l'objet. L'écriture va se modifier, s'automatiser pour devenir plus rapide et plus fine. C'est le début d'un apprentissage basé sur des feedback sensoriels.

**La posture, une préhension tri-digitale du crayon** pendant l'écriture s'améliorent grâce à l'éducation réalisée à partir de postures, de supports, d'outils et des matériaux différents. La posture debout au tableau donne plus d'amplitude aux mouvements, alors que la position allongée sur le ventre apporte davantage de force grâce à la pesanteur et de stabilité à son poignet.

Le diamètre dégressif d'outil calligraphique permettra de préparer la musculature. Un bon tonus musculaire, de la force et de la stabilité sont nécessaires pour réaliser une préhension tri-digitale dynamique.

**Vers 4-5 ans**, l'enfant a déjà acquis une certaine habileté dans le geste. **Les doigts de la main se sont spécialisés** : l'auriculaire et l'annulaire propulsent le geste. Le pouce, l'index et l'annulaire réalisent les tracés. L'enfant maîtrise les axes directionnels et parvient à copier des tracés avec une facilité croissante.

**De 5 à 6 ans**, l'enfant prend conscience de toutes ses capacités et recopie les tracés. Il devient capable de représentations mentales. L'enfant verbalise ses productions. La différenciation dessin – écriture se met en place. Après avoir tracé des croix et des carrés, les enfants apprennent à écrire 26 lettres en majuscules et en minuscules. Le tracé des lettres et des traits a un sens. Avant l'enfant devra avoir une connaissance des concepts haut, bas, croisé, dessus, dessous. L'écriture plus automatique contrôle des mouvements proactifs. Un début de représentation interne de l'acte moteur commence. L'association de l'expression orale et du mouvement permet d'améliorer la représentation perceptive de la lettre en mémoire.



Roman, 5 ans

A 6 ans, l'enfant apprend les lettres de l'alphabet.

**L'éducation est progressive durant les premières années de vie scolaire.** Le passage de la trace aux dessins, du dessin aux gestes graphiques, du geste graphique à l'écriture jalonne les bancs de l'école maternelle, ils sont la résultante d'une éducation scolaire.

**Vers 11 ans, l'écriture est acquise, elle se personnalise vers 15-16 ans.** Les habiletés motrices, telles que l'écriture doivent être fréquemment mises en pratique pour devenir automatiques et être bien maîtrisées.

L'écriture est en lien avec la culture, en orient, elle se déroule de droite à gauche. Dans certains pays d'Asie, elle utilise des idéogrammes.

L'écriture peut aussi faire place à l'art.



Kotone, 4 ans, japonnaise.

L'écriture est de droite à gauche en Orient.

## 2.6.2. Les compétences nécessaires à l'apprentissage de l'écriture sont :

**Une bonne posture** : le maintien postural de la tête, du tronc, et du poignet permet un contrôle du geste moteur suffisamment affiné.

**Une coordination bi-manuelle** pour tenir sa feuille et écrire, celle-ci diffère entre les droitiers et les gauchers.

**Une bonne prise tri-digitale** du stylo, une adaptation de la pression de la main sur le stylo et sur la feuille. La préhension tri-digitale modifiée peut-être observée.

**La coordination oculo-motrice** permet à l'enfant de maîtriser le tracé des lettres, leur enchaînement et la vitesse lui donnent l'**aisance** nécessaire pour découvrir le plaisir de l'écriture.

Une faculté de **coordination** des gestes de la main avec la vision et une bonne capacité d'attention permettent d'acquérir un geste fluide et suffisamment rapide.



Roman, 4ans et demi. Lili Rose, 5 ans

**Le choix de la main dominante** permet de faciliter l'éducation.

**La capacité d'individualiser les muscles de la main**, l'endurance de la main, la force du fléchisseur profond du pouce, la structuration spatiale, les dextérités manuelles et digitales permettent la progression de l'écriture.

Ecrire sur une ligne et laisser les bons espaces nécessitent **une perception visuelle**. Les guides d'écriture, le papier quadrillé fournissent une information visuelle et peuvent orienter l'enfant. Actuellement des nouvelles méthodes (Dumont) utilisent des lignes colorées pour l'apprentissage de l'écriture.

Maria Montessori prépare à l'écriture en utilisant des lettres rugueuses, la répétition sur un support granuleux permet à l'enfant de mémoriser les lettres grâce à la mémoire musculaire, motrice et sensitive. En entraînant à repasser avec le doigt et à intérioriser les gestes par les lettres rugueuses, les enfants apprennent à écrire avant d'apprendre à lire. La perception visuelle et la conscience kinesthésique permettent de tracer les lettres correctement.

Actuellement, la technologie occupe une grande place, cependant les ordinateurs ne remplacent pas la nécessité de prendre des notes, d'accomplir une variété de tâches qui impliquent l'utilisation du stylo.

En cas de dyspraxie, après une prise en charge multidisciplinaire et des bilans, l'utilisation du clavier d'un ordinateur est une interface qui supplée le handicap. Cependant, cela ne peut pas remplacer l'écriture. Sans la répétition qui donne l'accès à l'automatisation et l'intégration de l'outil dans le schéma corporel, l'écriture est difficilement acquise. Des conclusions d'études soulèvent cette problématique.

La compréhension des gestes et de l'aspect cognitif permet d'analyser finement la problématique et une évaluation approfondie est réalisée en cas de dyspraxie. Le test standardisé en France est le test de NEPSY 2. Il convient d'orienter l'enfant dyspraxique chez le professionnel adapté : celui-ci envisagera éventuellement l'apprentissage du clavier.

### 2.6.3. Les repas.

Le premier outil dont le nourrisson apprend à se servir est la cuillère. Les résultats d'une étude montrent qu'un changement dans les stratégies existe, elles deviennent de plus efficaces avec l'âge. D'autres résultats montrent qu'à 9 mois, les bébés prennent avec leur main préférée le bol et la cuillère à pleine main, et à 19 mois, ils peuvent prendre le manche de la cuillère avec la main non préférée. La planification motrice de l'utilisation de l'outil s'améliore avec l'âge. Une étude montre qu'il est **plus facile pour l'enfant de contrôler une action vers soi** (mettre une cuillère à la bouche) qu'une action vers l'extérieur (125).

A partir de 3 ans, l'enfant arrive à se nourrir et boire seul, avec une cuillère et se sert d'un verre à anse.

L'enfant doit être assis pour qu'il soit stable afin d'avoir un **bon contrôle postural et libérer sa main**. La hauteur de l'assise doit être satisfaisante par rapport à la table. Le plateau permet à l'enfant de prendre appui sur ses bras. Le manche de la cuillère peut être grossi en fonction des possibilités de préhension. Un gobelet à anse facilite la phase de saisie et de transport (51).

La posture chez un enfant polyhandicapé est à soutenir afin de le stabiliser et lui donner des points d'appui afin de libérer ses membres supérieurs.



Mani et Moïse, 2ans et demi

### 2.6.4. La toilette.

**Elle contribue à la connaissance du corps de l'enfant et de son schéma corporel.**



Moïse, 2ans.

## 2.7. De nouvelles prises en grandissant.

« Prendre, c'est exprimer par un acte volontaire un geste adapté à une fin » écrit Piveteau.

L'activité de préhension est primordiale.

La préhension est constituée de trois étapes : le transport, les actions de saisir, de tenir et le relâchement. Grâce à sa morphologie particulière, la main est un instrument de préhension remarquable. Il existe une multitude de possibilités effectuées grâce aux mouvements d'opposition du pouce. Le choix du mode de préhension s'effectue à partir d'un contrôle visuel, proprioceptif et tactile. Le positionnement, la dimension, le poids, la forme et la nature de l'objet demandent une adaptation de la main. Le but, la planification, la vitesse, la trajectoire et la force permettent de choisir une prise. Des multitudes de prises, infinies, variées animent la main (126). Les diverses articulations de la main et la coordination musculo-aponévrotique contribuent à la préhension.

Des précisions sont données en Annexe 6.



## 2.8 La dextérité.

La dextérité est essentielle pour les tâches journalières. La performance demandée en temps et en précision a des caractéristiques communes. Il existe des différences en fonction de l'âge, du développement, de la dominance de la main, de la cognition et des conditions cliniques, elles sont vérifiées à travers des évaluations. Annexe 7.

L'enfant progresse dans ses capacités de rétrocontrôles et de stratégies d'anticipation. La manipulation dynamique exige que la direction et la magnitude des vecteurs de force soient constamment modifiées pour maintenir la stabilité de l'objet stable pendant la tâche. Une progression dans la force pour attraper les objets du quotidien est nécessaire, elle demande un feedback pour l'adaptation du geste.

La manipulation dynamique progresse tard à l'adolescence, influencée par le développement du système neuromusculaire, l'expérience et le contrôle sensorimoteur.

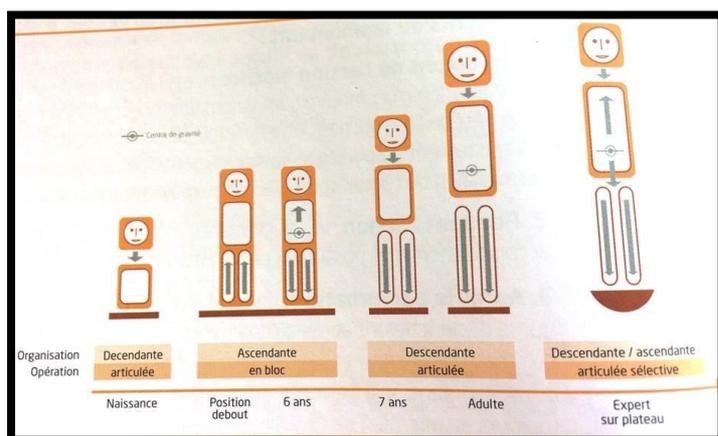
## 2.9. Le développement du contrôle postural en grandissant.

Le contrôle postural utilise la posture, le tonus et l'équilibre pour maintenir une position.

« Le mouvement s'appuie sur le contrôle postural » (127).

Lors des gestes, des ajustements posturaux se font en permanence.

Les stratégies d'équilibre reposent sur le choix du référentiel et sur la maîtrise progressive des différents segments corporels les uns par rapport aux autres. Il existe une évolution de ces stratégies en fonction de l'âge.



17. Illustration de l'évolution du contrôle postural

17. Illustration de l'évolution du

**2.9.1 Première période : de la naissance à la marche**, l'enfant s'équilibre selon une **organisation descendante de la tête au pied**. Les informations visuelles sont prépondérantes pour l'équilibre de l'enfant.

« Au cours de la première année, la maturation posturale se conçoit comme une verticalisation progressive, céphalo-caudale des différents segments corporels jusqu'à l'obtention finale de la station debout » C. Assaiante.

A 4 mois, l'enfant commence à s'orienter dans l'espace. Il passe d'un référentiel égocentrique à un référentiel allocentrique à partir de 2 ans (128).

Avec un référentiel égocentré, l'enfant utilise des repères successifs par rapport à son propre corps et il les intègre au cours de ses déplacements. L'orientation du corps sert de point de repère pour des orientations droite/gauche-haut/bas, devant/derrière.

Au cours du temps, les enfants intègrent de mieux en mieux les informations sensorielles.

### **2.9.2 Une deuxième période située entre la période d'acquisition de la marche et l'âge de 6 ans.**

La marche debout favorise la prise bimanuelle (77), le contrôle postural est **organisé de façon ascendante, des pieds jusqu'à la tête**. L'enfant maîtrise la stabilisation de son bassin, il est devenu un référentiel stable. L'enfant utilise **un ensemble tête- tronc** pour trouver son équilibre. Les informations visuelles sont prépondérantes pour l'équilibre de l'enfant. La maturation des systèmes sensoriels permet de combiner les informations visuelles, proprioceptives et vestibulaires à partir de 4 ans. Un processus d'automatisation du maintien d'une posture statique est acquis. Jusqu'à 6 ans, l'enfant a tendance à rigidifier la tête et le tronc pour contrôler son équilibre. Chez le jeune enfant, les mouvements du tronc influencent la stabilisation de l'avant- bras.

**2.9.3 Une troisième période débute vers 7 ans,** le fonctionnement articulé de l'ensemble tête-tronc permet à l'enfant de stabiliser la tête sur le tronc, dans l'espace. Le contrôle postural suit une organisation descendante à partir de la tête. **Les enfants intègrent les différentes sources d'informations sensorielles**. Il existe peu à peu **une maîtrise des segments corporels** impliqués dans la posture et la préhension.

L'enfant devient capable de **maintenir son avant-bras stable en dépit des oscillations antéro-postérieures de son tronc**.

Vers 6-7 ans, il existe une transition, l'enfant passe d'un **contrôle postural égocentré vers un contrôle postural plus sélectif et exocentré, cela implique un contrôle indépendant de chacun des segments corporels** (129). Les stratégies de stabilisation des différents segments permettent peu à peu une maîtrise des segments corporels impliqués pour la posture et la préhension.

**De 5 à 18 ans, la stabilité posturale s'améliore** d'après quelques études (64).

**2.9.4 L'adolescence** permet l'accès à l'espace universel et le passage du référentiel égocentrique à l'allocentrique en fonction des tâches. Le contrôle postural se dégrade temporairement par manque de ressources attentionnelles (64, 78), les informations proprioceptives sont altérées au profit des informations

visuelles lors du contrôle et de l'orientation du corps. L'adolescent stabilise la tête dans l'espace (sur le tronc).

A chacune de ces étapes correspond **une nouvelle représentation du monde, de l'image et du schéma corporel.**

## **2.10. L'éducation.**

Apprendre fait référence à l'éducation. Peut-on parler de rééducation sans évoquer l'éducation ? L'enfant est un explorateur, écrit M. Montessori.

L'éducation « c'est un processus naturel qui s'acquiert avec les expériences effectuées dans le milieu ».

Dans les sciences de l'éducation, d'après V. Goubier-Ligney, des pionniers ont parlé de la main, Pestalozzi (1746-1827) parle de la triade cœur-tête-main. Il cherche à éduquer et instruire par l'action. « Le travail manuel est associé au travail de l'esprit ». Il écrit « la main a besoin d'une éducation spécifique pour permettre à l'enfant d'accéder à l'autonomie » (130).

Maria Montessori (1870-1952), préconisait des conditions d'apprentissage et un matériel éducatif permettant aux enfants de réfléchir par eux-mêmes et d'utiliser leurs multiples habiletés. Elle s'appuyait sur le désir qu'ont les enfants d'imiter les actions des adultes. Elle leur confiait des objets fragiles, leur proposait des activités demandant un effort d'attention, d'habiletés, elle considérait l'activité de la main de l'enfant comme un besoin vital. Elle a écrit « la main a besoin d'une éducation spécifique pour permettre à l'enfant de se créer lui-même ».

D'autres pédagogues écrivaient, « la main active crée le lien entre l'école et la société » Dewey (1859-1952), « La main par l'exploration du monde et l'expérience active, permet l'élaboration de la pensée » Décroly (1871-1932), « La main est l'outil indispensable à tout travail de création et permet à l'enfant de construire lui-même ses connaissances » Freinet (1896-1966).

Les recherches récentes et l'expérience de C. Alvarez, 2016, inspirées par M. Montessori, ramènent à la main sa place dans l'éducation, « Manipuler de vrais objets » « Mieux percevoir par le toucher »...

Les activités de la main illustrent et participent à son ouvrage (44, 131).

C. Alvarez souligne l'importance de la confrontation sociale, le respect du rythme, l'importance de l'ordre dans l'apprentissage, de la répétition, la place du geste et de l'action. Elle souligne la nécessité de verbaliser l'action pour aider au développement de l'orientation spatiale. **La répétition**, « ce curieux comportement, commun à tous, pour ainsi dire constant dans chacune de leurs actions, était-ce un caractère propre au travail

de l'enfant, que j'appelai plus tard la répétition de l'exercice, il se répétait et se répétait sans plus avoir de but extérieur » écrivait M. Montessori.

« Le geste et l'action sont placés au centre de la vie sociale des enfants et de la communication », « l'ambiance mesurée et ordonnée favorise l'intérêt et la concentration », « le rythme fait partie intégrale de l'individu, il a un rythme qui lui est propre ».

### 2.11. Le jeu : l'environnement de l'enfant.

« Jouer » est naturel, le jeu est en lien avec la notion de plaisir, c'est une activité essentielle pour l'enfant, il a un rôle moteur dans son développement global. L'enfant est poussé par l'expérience de la curiosité (voir, entendre, sentir, toucher, goûter) et le jeu **est vécu comme une activité sérieuse** engageant toutes les ressources de sa personnalité. C'est une activité par laquelle il expérimente et se construit (131). Il contribue à l'épanouissement et au lien avec l'autre.

« Pour Jean Epstein, « le jeu, c'est la vie de l'enfant ». Il se sert de situations de tous les jours pour construire ses repères en jouant, l'enfant fait l'expérience de la réalité qu'il s'approprie. Il apprend sur lui, l'autre, sur les respects des règles et le mettent en relation facilement avec l'adulte ou d'autres enfants. C'est un moteur du développement. Comme dans tout apprentissage, **la phase de découverte est suivie d'une phase où l'enfant est plus à l'aise et progresse grâce à la répétition.**



Martin, 11 ans

Des premiers pas ludiques interactifs avec le nourrisson, jusqu'aux jeux d'instinct, le jeu est une suite logique d'activités spontanées, de manipulations propres à la toute petite enfance.

Formes, couleurs, sons, textures, découvertes par le jeu sont un support d'expression pour l'enfant.



Jeu en bois

Jeu avec règles, jeu de société, jeu spontané, jeu imaginaire et symbolique, jeu de hasard... égayent la vie des enfants.

**Le jeu présente deux aspects :** il peut être une activité physique ou intellectuelle exercée dans le but de se divertir et vivre avec plaisir. C'est un outil de socialisation, il sous-entend une règle et un résultat final. En jouant, l'enfant explore et apprivoise le monde, il réalise ses expériences sensorimotrices, découvre son corps et ses limites, développe son imaginaire, sa créativité, l'esprit des mathématiques, le langage.

Le jeu contribue au développement moteur, cognitif, affectif et social et **permet la revalorisation de l'enfant, c'est un aspect fondamental dans le cadre du handicap.**



L'espace de jeu adapté est nécessaire, il est propice aux expériences de l'enfant. Le jeu s'apprend à lorsqu'il est accompagné.

**Le jeu peut être** une activité libre, l'enfant a alors le choix du jouet. Il peut être un outil pédagogique ludique et éducatif.

Compte tenu de la limite de temps, d'espace et de nos objectifs, nous utiliserons cet aspect-là en kinésithérapie.

### **-TROISIEME PARTIE : La rééducation**



Adèle, 1 mois .

« Prendre un enfant par la main » Y. Duteil.

### **3.1. Les principales pathologies de la main rencontrées en pédiatrie.**

L'habileté manuelle de l'enfant peut être entravée par des déficiences et certaines pathologies centrales, périphériques, traumatiques, congénitales, une brûlure, une dyspraxie voire une situation de polyhandicaps. **La prise en charge rééducative varie en fonction de la prescription, des pathologies, de l'âge, et parfois des équipes.**

Les pathologies centrales regroupent les enfants hémiparétiques, traumatisés crâniens, blessés médullaires de type tétraplégie et les enfants atteints par une tumeur cérébrale.

Les pathologies périphériques regroupent les paralysies obstétricales, le Guillain barré et la paralysie périphérique.

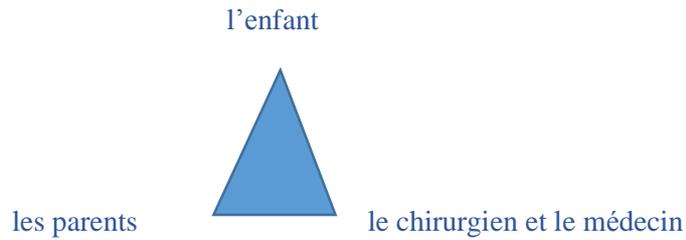
La spécificité de la brûlure étendue chez l'enfant est la croissance, l'enfant est appareillé pendant de nombreuses années dans le cadre d'une brûlure grave pour l'accompagner jusqu'à la taille adulte.

Les pathologies congénitales sont variées, les décisions chirurgicales sont prises dans quelques équipes en France en multidisciplinarité et accompagnent la décision des parents (Lyon, Lille). L'appareillage peut aussi avoir un rôle majeur durant la croissance de l'enfant. Le handicap de naissance amène une attitude thérapeutique différente, le soutien et l'acceptation du handicap par l'enfant sont essentiels.

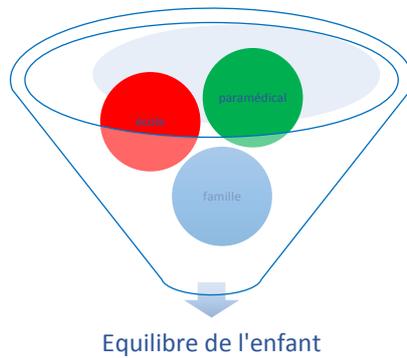
Les dyspraxies sont peu développées dans cet exposé, car la prise en charge multidisciplinaire est souvent proposée dans des réseaux « dys », elle est rarement kinésithérapique.

### **3.2. La prise en charge de l'enfant.**

#### **Une première équipe : 3 entités :**



**Une équipe exponentielle pour plus de spécificités :**



**L'équipe paramédicale** est composée de kinésithérapeutes, ergothérapeutes, orthophonistes, psychomotriciens, neuropsychologues, et psychologues.

En fonction de l'activité en cabinet ou en structure de rééducation, la collaboration diffère. La communication entre les différents acteurs potentialise l'aide à la famille et le sens des soins.

Chaque rôle bien défini est complémentaire.

La fragilité émotionnelle de l'enfant nécessite une stabilité des intervenants pour établir la confiance et le lien relationnel.

### **3.3. Les spécificités pour la rééducation de la main de l'enfant.**

#### **3.3.1. Différents éléments sont essentiels à la prise en charge des enfants :**

La maturation corticale modifie les capacités attentionnelles, les fonctions exécutives et mnésiques, les capacités motrices, les facultés d'apprentissage et la communication au fil du temps.

La plasticité cérébrale chez l'enfant est très importante.

Resituer les fonctions cognitives de l'enfant à partir de son âge nous permettra de mieux appréhender les troubles lors d'une pathologie centrale type hémiplégie, pathologie tumorale ou traumatisme crânien.

Les capacités d'imitation de l'enfant, et d'empathie nous amènent à une position adaptée en tant que thérapeute : une attitude juste, sécurisante, « partenaire du bon exemple ». La capacité à reproduire un mouvement après imitation commence à 18 mois (86, 110).

La sensibilité émotionnelle nécessite un environnement sécurisant, l'affectivité est un moteur d'apprentissage. N'oublions pas l'humour et la créativité pendant les séances de rééducation, l'attrait pour la nouveauté et le plaisir les stimulent.

La croissance et la maturation osseuse doivent rester harmonieuses, les contraintes engendrées par des brûlures, et par l'arthrogrypose imposeront un appareillage conséquent.

« Il est important, si petite que soit la main de conserver les trois arches de la main, le creux de la main est à privilégier » A. Baiada (12).

A. Baiada note un objectif essentiel, « Favoriser, entretenir, récupérer la fermeture de la main (enroulement digital et digito-palmaire) » (12).

La fragilité de la peau de l'enfant est plus importante que celle de l'adulte. En fonction de la profondeur et de la zone de lésion, de la couleur de la peau, des moyens seront à privilégier.

Le développement proprioceptif de l'enfant est en pleine maturation, son schéma corporel et son contrôle postural évoluent aussi en fonction de l'âge. Le développement postural de l'enfant montre des changements majeurs décrits précédemment à 1 an, 7 ans, et 15 ans.

En fonction de l'âge, il passe d'une utilisation de son corps monobloc vers 4 ans, à une possibilité de différencier ses segments corporels plus tard.

La motricité de l'enfant se construit en interaction avec les informations sensorielles visuelles, auditives, vestibulaires, proprioceptives et tactiles. Il a été vu que toutes ces informations arrivent de façon multimodale.

**La variété et le mélange d'informations sont préconisés.** Ils doivent cependant respecter la maturation de ceux-ci. Cela engendrera de la créativité dans nos rééducations.

A partir de 7 ans, l'enfant peut intégrer les informations proprioceptives.

C'est à 9 ans qu'émergent les capacités d'intégrations sensorielles de l'enfant dans le contrôle de l'action, ces capacités d'imagerie motrice présentes à 7 ans gagneront en précision à partir de 9 ans. De nouveaux outils de rééducation verront alors le jour : les exercices d'imagerie motrice et de reconnaissance de latéralité.

Les exercices d'imagerie mentale pourront être utilisés à partir de 11 ans (78).

La latéralité et la coordination bimanuelle évoluent par étapes, les périodes de changement seront à repérer pour proposer des jeux adaptés et aider l'enfant à passer à l'étape suivante du développement. La latéralité de la main est acquise à 5 ans dans la plupart des cas. Quel que soit l'âge, les capacités plus grandes de la main préférée sont observées surtout à travers les contraintes de précision (14).

D'après des études récentes, en cas de pathologie congénitale, la main saine peut montrer aussi un retard de développement d'après les bilans de dextérité standardisés et pourrait bénéficier de réadaptation (132).

La préférence manuelle est intégrée dans la représentation motrice dès l'âge de 5 ans. Quel que soit l'âge des participants, la précision spatiale est meilleure pour la main préférée. Des résultats traduisent l'existence d'une asymétrie temporelle entre les deux mains, qui définit la main préférée. Cette asymétrie est retrouvée lors des exercices d'imagerie motrice (78).

**Les deux mains forment une unité et agissent en complémentarité, la coordination bimanuelle asymétrique est effective vers 12 mois, elle est plus élaborée à 18 mois.**

Sur le plan de la motricité, la coordination bimanuelle symétrique précède l'habileté uni-manuelle et la coordination bimanuelle asymétrique. Les manipulations précèdent l'acquisition des praxies. **Le développement génétiquement programmé surtout visible la première année va être suivi de la période d'acquisition des apprentissages.** Cependant dès le plus jeune âge, le nourrisson est enrichi par l'environnement et ses stimulations (16, 20).

A la lueur du travail de M. Le Métayer qui guide nos rééducations, **une chronologie** nous donne des **repères** pour le choix de nos exercices, de nos jeux, de nos stimulations et des conseils d'éducation thérapeutique.

### 3.3.2. Les particularités en fonction de l'âge.

#### a) Le nourrisson et l'enfant en bas âge.

Les parents font partie prenante de notre prise en charge rééducative, ils seront informés, rassurés et peuvent être présents durant les séances. La rééducation devant les parents peut être une guidance pour eux.

La rééducation débute quelques jours après la naissance de l'enfant après l'annonce du diagnostic médical.

Avant de mettre sa main en action, le toucher a une place importante chez l'enfant (70). Utiliser l'interface de la peau, établir le contact non-verbal, l'observer pendant ce temps permet de « l'appivoiser ».

Le massage est une aide en cas de douleur. Le temps de stimulation est adapté à l'âge de l'enfant. C'est un temps préparatoire à nos mobilisations passives. Les mobilisations actives seront amenées grâce à des **jeux choisis** en fonction de l'intérêt de l'enfant, de son plaisir et de nos objectifs.

Selon la loi de développement neurologique céphalo-caudal et proximo-distal chez l'enfant de bas âge (53, 64), toute rééducation de la ceinture scapulaire est associée à un travail du rachis cervical (12).

S'adapter au rythme de l'enfant est essentiel. C. Alvarez et M. Montessori, pédagogues, mettent en avant cet aspect facilitateur d'apprentissage. Déjà les mères de petits chimpanzés ralentissent leur geste pour les apprentissages (7).

Le bébé humain apprend en observant. Des conditions favorables, d'ordre, de rythme et des jeux adaptés sont propices (44, 68, 79).

Dès 3 mois, par ses capacités de désengagement attentionnel en lien avec la maturation et le développement du système visuel et cortical, l'enfant montrera des capacités d'apprentissage exponentielles.

L'enfant apprend par **habituatio**n, la répétition est nécessaire, il est cependant attiré par la nouveauté (20), si bien qu'il est nécessaire de bien l'observer, d'amener de la diversité dans nos rééducations, et d'être créatif ! Il est essentiel de s'adapter aussi à l'intérêt de l'enfant.

C'est à partir de 18 mois que l'enfant pourra imiter nos gestes (89, 113).

Les expériences de Grenier, et le comportement de l'enfant in utero montrent la précocité de certaines capacités motrices en apesanteur. L'eau représente le point de départ de la vie, l'enfant en apesanteur peut faire évoluer ses capacités kinesthésiques. L'hydrothérapie en tant qu'approche corporelle est bénéfique, elle amène des sensations apaisantes et bien-être. Elle a une action sur le schéma corporel à travers les différentes mobilisations. Elle permet d'agir sur les sensations kinesthésiques et sur les sensations sur la peau grâce à la pression que l'eau exerce (12, 133).

Les jeux en **rééducation** sont choisis en fonction de **l'intérêt de l'enfant**, dans une **activité cadrée**.

La surface corporelle est riche en capteurs notamment sur la face et les paumes des mains (12). L'enfant en mettant les objets à la bouche prend déjà connaissance avec l'objet.

« En ce qui concerne la main, on n'insistera jamais assez, chez le patient au membre supérieur immobilisé, de conserver au niveau de la paume un objet quelconque (tissu, éponge, balle) destiné à activer à bas régime les terminaisons nerveuses » écrit A. Baiada.

Les sens fonctionnent de façon multimodale, les stimulations des sens seront multiples, et variées, par exemple, un hochet amènera des couleurs et une orientation du regard par le bruit, un tissu vichy coloré permettra de stimuler l'œil et le toucher (50). Le choix de jeux bruyants, de textures différentes va progresser.

Stimulations visuelles, auditives, attentionnelles, extéroceptives, et proprioceptives pourront être générées par le thérapeute et le matériel utilisé. L'utilisation de couleurs, surfaces, formes, sons, dimensions, poids, températures variées amènent des impressions tactiles et des informations diverses. Des stimulations auditives et visuelles peuvent être associées. La verbalisation est importante pour l'apprentissage. Ces stimulations doivent être réalisées selon **un objectif défini**.

La maturation de l'œil montre une période clé à **3 mois**, avant ce délai, l'audition et le sens haptique vont diriger la main essentiellement. **La coordination visuo-manuelle est en place vers 5 mois**.

Suivant le développement génétiquement programmé, **les niveaux d'évolution motrice** par leur participation au développement postural, musculaire et vestibulaire... seront un outil de rééducation simple et constructif pour la main de l'enfant. A travers ses déplacements, l'enfant met en place ses schémas moteurs.

Le but du thérapeute est de remettre en mouvement, d'aider l'enfant à coordonner, de structurer sa motricité.

Le tonus de la tête et du tronc libère les membres supérieurs, chez les enfants polyhandicapés, l'installation, les conditions d'exercices seront essentielles pour stimuler leurs membres supérieurs et les mains.

Les réactions « parachutes » au même titre que les praxies s'éduquent et font partie des exercices qui assurent à l'enfant une protection en cas de chute. En fonction de l'âge, elles seront à prendre en considération avec ou sans appareillage. Ces réactions font partie des exercices qui assurent à l'enfant une protection en cas de chute (51).

## **b) L'enfant plus grand.**

La maturation des fonctions exécutives donne accès à des intentions conscientes, plus d'attention, de motivation et de mémoire de travail.

L'enfant va passer **d'exercices simples à des activités complexes**, les capacités de  **doubles tâches** se mettent en place entre 6 ans et 11 ans.

L'évolution du système postural est en lien avec le développement de son système proprioceptif, l'enfant va avoir la capacité à **utiliser progressivement son corps de façon segmentaire**. Ses **capacités d'intégrations sensorielles lors du guidage de l'action** vont amener une **capacité de représentation motrice, d'imagerie motrice** et des **capacités de mentalisation**. La prédominance sensorimotrice jusqu' à 7 ans, nous conduit à choisir des exercices qui donnent accès aux perceptions sensibles.

A partir de 9 ans, l'intégration sensorielle donnera accès aux exercices d'imagerie motrice.

Des nouvelles prises en grandissant nous donnent un répertoire de gestes à proposer en fonction des déficiences. Annexe 6.

### **3.4. La rééducation.**

#### **3.4.1. Le bilan.**

En fonction des consignes chirurgicales et médicales, la prise en charge de rééducation commencera par un bilan.

Une démarche d'évaluation clinique précise est nécessaire pour qualifier et quantifier chacune des déficiences de l'enfant.

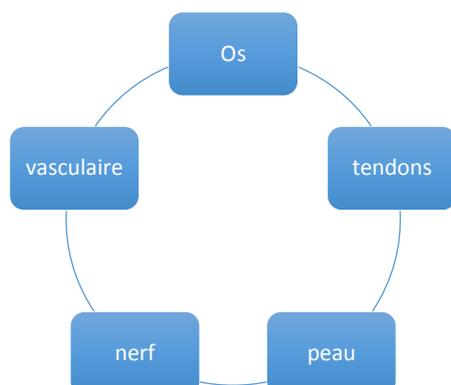
Des bilans validés, standardisés, adaptés aux différents âges, et une fiche de bilan complémentaire à celui spécifique à la pathologie sont proposés en annexe 7.

Certaines équipes utilisent les vidéos ou les photos à titre de suivi (Lyon, Lille).

A partir du bilan, de la pathologie, et de l'âge de l'enfant, repositionner la main de l'enfant dans un développement global me paraît essentiel d'après ces recherches.

### 3.4.2. Le traitement

Différentes structures peuvent être endommagées.



Sur le plan cognitif, la pathologie entraîne des modifications de perception du corps et de l'environnement. Il en résulte des modifications des mécanismes cérébraux de traitement et de codage de l'information. **La plasticité cérébrale** est un phénomène adaptatif, les stimulations guident l'activité synaptique, le développement sensorimoteur et les **représentations corticales**.

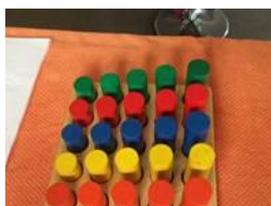
Des moyens analytiques de traitement couramment utilisés en pédiatrie agissent localement et ont pour objectif d'aller vers une **consolidation** voire **une guérison**. **La reprise ou l'acquisition de la fonction** pour un retour à **l'autonomie** est notre objectif.

**Au préalable, il est nécessaire d'avoir un certain nombre de renseignements :**

Une **prescription médicale** et le **compte rendu opératoire** vont permettre d'une part **d'orienter notre bilan** et ils vont permettre de fixer **les précautions de prise en charge** en fonction des délais et de l'acte chirurgical.

**La connaissance de l'environnement** de l'enfant, de sa famille.

**Des jouets, des matériaux variés**, colorés, des matières, des formes, des figurines différentes et un espace au sol. Le jeu devra respecter l'âge de l'enfant.



Des stratégies thérapeutiques seront adaptées en fonction du bilan, des familles et de leurs souhaits, de la pathologie et des consignes chirurgicales.

D'après cet exposé, la main sera aussi prise en charge en fonction de la globalité de l'enfant.

Les étapes de la préhension et du développement moteur, bien décrites par Emmi Pickler et Michel Le Métayer vont dans ce sens. A travers les niveaux d'évolution motrice, déjà le rôle de la main se construit.

Le rôle du rééducateur amène une thérapie des mouvements et a une place dans le développement moteur des enfants perturbés par leur pathologie.

« L'objectif principal est la mobilisation active précoce pour aider le patient blessé à retrouver sa gestualité, sa spontanéité et plus tard son habileté » écrit A. Baiada.

Nos objectifs sont d'accompagner la guérison des structures endommagées par des soins adaptés et de favoriser la mise en place de la motricité, si elle est défaillante.

Les soins stimulent l'acquisition normalement spontanée des apprentissages moteurs propres à l'évolution de la main de l'enfant. Les stimulations corrigent les mauvais schémas moteurs.

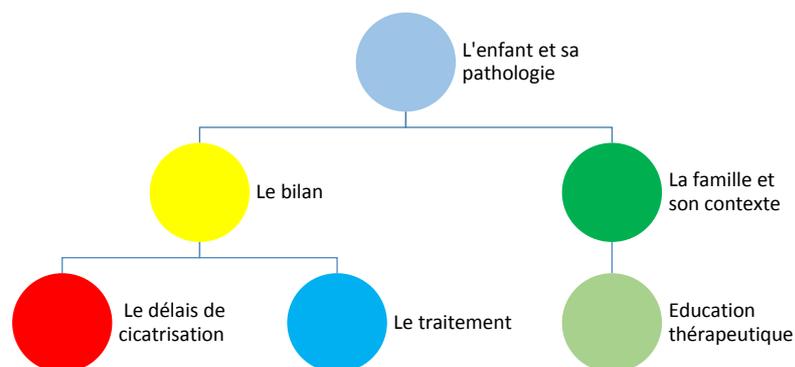
Dans le cadre d'une pathologie congénitale opérée, l'enfant par ses capacités plastiques n'a pas toujours besoin de réadaptation. Certaines équipes proposent de la rééducation après deux mois, si l'enfant n'intègre pas sa nouvelle fonction (Paris, Lille).

Notre rôle est aussi d'accompagner les parents, de les conseiller et de leur donner une éducation thérapeutique.

Le matériel permet d'éduquer la main et le développement de son habileté. Le poids, la taille, les textures des objets doivent être variés et adaptés à la taille et aux capacités de la main de l'enfant.

« Le choix du matériau joue un rôle essentiel, il doit être prégnant, c'est-à-dire que la structure, le revêtement et la rugosité facilitent l'adhérence pulpaire et palmaire » souligne A. Baiada.

Il vient en complément de notre travail manuel et des stimulations plus globales.



Construire une démarche personnalisée après avoir défini les objectifs à atteindre est essentielle, 15

les différents moyens de rééducation sont définis ci-dessous :

## **1. La douleur.**

**Le massage** : pour le petit enfant, le toucher est un mode relationnel, un mode de communication non verbal. Pour l'enfant plus grand, il existe plus de distance (133).

Le massage antalgique agit sur la douleur par la sécrétion d'ocytocine qu'il procure, par le rôle sur la trophicité. Pour le thérapeute, il donne de riches informations sur l'évolution des tissus.

Le massage cicatriciel a pour objectif de lever les adhérences et de donner plus de souplesse et d'élasticité à la peau (57). En cas de brûlure, il agit en complément au port de compressif, de douche filiforme, d'appareillage et de posture.

**L'électrothérapie** : elle est rarement utilisée chez l'enfant de bas âge, elle est parfois utilisée chez l'adolescent. Le TENS (134) et l'électrostimulation peuvent être utilisés après des transplantations en attente de la récupération (134) et en neurologie périphérique.

**La cryothérapie** par ses capacités d'antalgie et son rôle sur la trophicité peut être utilisée, elle aide à lutter contre l'œdème (135).

**Les bains**, l'eau peut être ludique pour l'enfant, certaines mobilisations actives dans l'eau pourront être apprises en éducation thérapeutique. Ce sera un lieu favorable pour un enfant avec une arthrogrypose par exemple pour ramener du mouvement.

## 2. La trophicité.

**Les bains écossais** par l'alternance du chaud et froid en bain ou en douche sont facilement préconisés. Ils activent la microcirculation, la main est placée en alternance 2 minutes dans l'eau chaude à température ambiante, puis dans l'eau froide, deux fois de suite, le froid clôture cette séquence.



Matériel pour bain écossais.

**Le drainage lymphatique manuel**, par son caractère doux et modulé, est adapté à la taille de l'enfant et peut aider à lutter contre l'œdème, frein aux mouvements, activateur de fibrose et en lien avec l'inflammation. Les manœuvres de résorption agissent sur le système lymphatique et sur le versant capillaro-veineux (134).

**Le bandage** aide à lutter contre l'œdème, et peut aider dans nos postures. Le choix du matériel permet plus de précision et de confort.

**Le compressif** (23, 134) est réalisé sur mesure pour les enfants brûlés ; sa régularité de port est essentielle. L'éducation thérapeutique pour sa mise en place et pour son entretien est nécessaire. Ils sont le garant de leur efficacité.

**La position déclive** a une action réelle si l'œdème est liquidien (134).

## 3. La mobilisation.

Les mobilisations seront passives ou actives en fonction de la pathologie et de la période de cicatrisation et de consolidation.

**Pour les lésions tendineuses**, selon la prescription chirurgicale, la mobilisation sera plus ou moins précoce, en actif protégé, en passif. Un enfant turbulent peut avoir un protocole adapté. Les adhérences chez l'enfant ont une période critique dans la 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> semaine post-opératoire, elles seront à surveiller.

**Pour les lésions osseuses**, leurs immobilisations dépendent de la fracture et des consignes médicales. Elles dépendent du type, du lieu et de la gravité de la fracture. Sur la radiographie du poignet, la maturation osseuse donne lieu à l'apparition du sésamoïde du pouce à 11 ans chez les filles et 13 ans chez les garçons. L'apparition d'un os sésamoïde est contemporaine dans les deux sexes du début de la puberté (22, 23).



**b) Exercices de discrimination tactile :** les mains dans le riz, le sable, microbilles synthétiques ou plastiques, quinoa... des petits objets peuvent être cachés à l'intérieur pour amener un côté ludique et stimuler la main (57). L'exercice, les yeux fermés peut être un nouveau défi, il permet d'entraîner la proprioception et la reconnaissance des formes.

Les exercices avec les monofilaments, de discrimination sont utilisés chez les enfants en âge en capacité de comprendre les consignes.

**c) Le traitement de la sensibilité dysfonctionnelle :** l'hypoesthésie, l'hyperesthésie, la dysesthésie, la paresthésie, l'hyperalgésie et l'allodynie seront à rééduquer en fonction du bilan. Elles peuvent être observées suite à des brûlures et certaines cicatrices chez l'enfant. La désensitivation, le traitement par vibration et les techniques de rééducation développées par C. Spicher peuvent amener un soulagement après un certain temps.

## **5. Les exercices fonctionnels.**

### **a) Chez l'enfant de bas âge.**

**La stimulation des niveaux d'évolutions motrices** permettra de préparer la main et guider les capacités de développement à travers un travail plus global. Les niveaux d'évolution motrice exercent la motricité grossière de la main. La force et la coordination seront stimulées. La marche sur les mains en imitant des animaux, tirer et pousser des objets amèneront du plaisir aux enfants (51).

**Exemple d'exercices à domicile pour diverses pathologies :** La pâte à modeler, le collage, les exercices avec tampon d'encre, les exercices d'écriture, des ouvrages avec des ciseaux et une feuille permettent de réaliser des exercices de coordinations bimanuelles, ils seront facilement utilisables avec les familles. La main sensitive, motrice et créative est à stimuler (130).

Les jeux de construction demandent la possibilité de lâcher un objet et des facultés d'attention.

Les jeux de ballon activent les coordinations visuo-manuelles, bimanuelles et les réflexes.

### **Stimuler une préférence manuelle.**

Par stimulation visuelle, en portant un bracelet, un ruban, l'attention sur la main à utiliser permet dans certains cas de prolonger les stimulations réalisées pendant la séance.

La présentation d'un outil se fera **du côté à utiliser**, le matériel **sur le plan de travail sera installé au plus près de la main préférée** pour que l'enfant n'ait pas à croiser la ligne médiane dans un premier temps.

**Une situation de jeux où la main préférée tient le contenant peut être effectuée :** mettre des billes dans un gobelet, mettre avec une pince des boules de coton dans un récipient. Les jouets stimulent la sensibilité par les différentes matières, la préhension par le geste, la coordination visuo-manuelle et bimanuelle mettent un accent sur la main à travailler.

### **L'intégration motrice bilatérale.**

Au regard du développement, dans la progression, **les exercices seront d'abord réalisés en direction du corps de l'enfant de façon symétrique**, dans leur champ visuel et iront vers une dissociation du côté droit et gauche. Une main pourra avoir un rôle de support dans un premier temps, les exercices se complexifieront par un travail des deux mains de façon asymétrique plus tard. L'acquisition de la coordination bimanuelle permet à l'enfant de transvaser de l'eau, du sable.... par plaisir et intérêt de la découverte.

**Des exercices à domicile** peuvent être réalisés, devant un tableau, une craie dans chaque main, les yeux fermés, l'enfant dessine des formes, des motifs ou des lettres en utilisant les deux mains en même temps. Des exercices d'enfilage de perles sur une corde exercent la motricité fine, le petit diamètre de la perle augmentera le travail de prise fine, et cela augmentera la contrainte. La main préférée est alors repérée.

Lacer des chaussures nécessite la coordination des deux mains, des prises fines, et une coordination visuo-manuelle.

**L'adaptation de l'outil à la main de l'enfant a été préparée par l'objet.** L'utilisation d'outil d'écriture adaptée, d'abord large puis fins. La tonicité des doigts, leurs dissociations, la force du fléchisseur du pouce ont besoin d'être entraînées. La craie peut être utilisée avant un crayon de petits diamètres.

**Des objets et des éléments de la culture donnée** peuvent amener de la compréhension dans nos rééducations. Dans l'apprentissage des praxies, les baguettes pour un enfant asiatique solliciteront la main différemment de la fourchette, en Afrique, la pince tri-digitale pour se nourrir va stimuler les capteurs sensitifs avec les aliments.



Lili Rose, franco-vietnamienne.

## **b) Chez l'enfant plus grand.**

**Les diagonales de Kabat** seront utilisées dès que le développement postural permet le contrôle et la dissociation de ses différents segments corporels. Elles associent un travail postural, de coordinations musculaires dans les trois plans, de façon proximo-distale. C'est un exercice global. La stimulation multimodale sur le plan sensoriel, la participation de l'œil, de l'ouïe et du toucher agissent sur l'intégration sensorielle durant un acte moteur. Par ses stimulations, les diagonales de Kabat participent à la représentation motrice (116).

**Le geste.** Il fait suite à **un but, une intention consciente**. Aider l'enfant à se fixer un but pour réaliser son action lui permet de préparer son geste. La verbalisation optimisera son action.

La maturation des fonctions exécutives, ses progrès d'attention et de mémoire de travail va permettre un **apprentissage avec des gestes plus complexes**.

Les exercices sollicitant **la double tâche** seront alors possibles.

**Les cas de pathologies neurologiques** : hémiplégie suite à un accident vasculaire cérébral, enfant traumatisé crânien, suite de tumeur cérébrale, situation de polyhandicap demanderont de nous positionner avec cette connaissance.

L'attention, la motivation, et la capacité d'inhibition sont essentielles à l'apprentissage moteur et l'accès aux habiletés manuelles.

**La verbalisation avec des verbes d'action** active la planification du geste, une activité corticale est déjà en jeu.

Le rééducateur peut s'inspirer des éducateurs pour les exercices fonctionnels, il ne manque pas de ressources.

**La posture prépare le geste.**

**Pour la motricité fine**, l'enfant doit apprendre à positionner ses épaules, ses bras et ses poignets dans une position stable, tout en réalisant des mouvements isolés des doigts. Une position de fonction en légère extension du poignet permet un équilibre des muscles des mains et des doigts. Le pouce peut facilement s'opposer aux autres doigts pour manipuler les objets en précision. **La vitesse et la fluidité** du geste seront des objectifs à ne pas oublier.

La lenteur d'écriture est une des sources de handicap dans la dyspraxie.

Des exercices de **graphismes** et de préhension debout permettent de maintenir le bras et l'épaule contre la pesanteur et aident à développer les muscles des épaules et une stabilité posturale. Le changement de **posture** peut être facilitant en fonction du développement postural de l'enfant. La main travaille alors à hauteur des yeux, et le poignet est en légère extension. Ces exercices peuvent être réalisés avant des

exercices assis pour faciliter la posture ou allongé sur le ventre, cela donne des capacités facilitatrices par rapport à la pesanteur, au schéma corporel. La position debout donne plus d'envergure.

**Les prises de force** : les prises digito-palmaires, en étau, les prises circulaires seront à surveiller.

Des exercices sur plateau canadien pourront préparer ces fonctions (Baiada, 134).

Des pinces « type à linge » permettent de travailler les prises pouce-index avec plus de résistance.



Matériel de rééducation : les pinces pour la prise bimanuelle.

**Les prises de finesse** : la prise tri-digitale, pulpo-pulpaire, interdigitale seront à stimuler. Des pinces type « à épiler », des billes, des clous, des chevilles, des allumettes, des perles, des mikados pourront être utilisés. Par leur utilité, des plateaux de travail pourront permettre de solliciter différentes fonctions de la main et le geste.



Louise, 13 ans



Matériel pour stimuler les prises fines.

Des exercices de proprioception peuvent être réalisés. Rééduquer le système somesthésique demande de la créativité.



Matériel de proprioception.

La dextérité peut aussi être exercée à partir de 3 ans, l'âge à partir duquel nous pouvons effectuer un bilan.



Matériel pour la dextérité.

« **La préparation précède l'action, l'enfant doit se préparer lui-même, préparer ses instruments puis s'affermir pour observer les autres et enfin commencer à faire quelque chose** » écrit M. Mazeau (54).

### 3.5. L'apports des neurosciences dans la rééducation.

Depuis l'essor des neurosciences, de nombreux outils de rééducation ont vu le jour, thérapie miroir, exercices d'imagerie motrice, exercices de reconnaissances de latéralité, mouvements imaginés, thérapie contrainte pour les enfants hémiplésiques.

Par exemple, un enfant appareillé, immobilisé à la main pendant des mois aura sans doute une activité corticale modifiée. Des exercices de reconnaissances de latéralité, d'imagerie mentale, peuvent permettre de garder toute la part **cognitive du geste**. Des exercices ludiques de reconnaissances de latéralité existent.

D'après les études de J.Guilbert, ces exercices ne seront utilisés qu'à partir d'un certain âge (78).

Les utiliser dans la rééducation a **pour but d'entraîner la partie cognitive du geste**. Ses exercices pourront être exercées en neurologie centrale, périphérique et en cas d'immobilisation prolongée par exemple dans le cas d'une brûlure de la main chez l'enfant.

L'imagerie motrice permet une redistribution de l'activité cérébrale, elle est accessible chez l'enfant à partir de 9 ans. L'accès à la représentation mentale donnera la possibilité d'utiliser des exercices d'imagerie motrice et mentale, comme de reconnaissances de latéralité.

L'imagerie mentale est un outil pour façonner et corriger l'apprentissage. Elle est utilisée dans le domaine de la musique et du sport et en rééducation. **Pour tout exercice d'imagerie mentale, de représentation mentale, il est nécessaire de connaître au préalable la discipline, les mouvements et les gestes exécutés doivent avoir été vécus précédemment.**

Lorsque l'imagerie mentale est en jeu, les informations tactiles, auditives et visuelles activent le cerveau comme si le mouvement était réel. **L'imagination du mouvement active le système nerveux et inhibe la réponse motrice. La représentation mentale** d'un mouvement, d'une personne, d'une situation, permet la simulation du mouvement, du geste mais **sans son exécution.**

**L'association des exercices physiques et de représentations mentales est la plus performante (78).**

Il existe une équivalence neuro-fonctionnelle entre les mouvements imaginés et ceux effectués, un modelage du cerveau, **une planification étant effectuée dans les deux situations**. Une automatisation et une mémorisation sont créés par leurs stimulations.

L'imagerie motrice est en lien avec **la représentation motrice**, elle-même liée aux capacités **d'intégrations sensorielles**. Elle émerge à partir de 7 ans, l'âge où le système proprioceptif s'intègre et à l'âge de 9 ans, il devient performant, les capacités d'intégration sensorielle sont normalement acquises (136).

De plus en plus utilisée en préparation sportive, l'imagerie motrice a prouvé son efficacité et son utilisation en rééducation chez les enfants à partir de 9 ans ouvrent de nouveaux champs rééducatifs. La reconnaissance de latéralité pourra être débutée plus tôt.

D'après les travaux de J. Guilbert, les exercices de reconnaissances de latéralité peuvent être utilisés à partir de 5 ans. L'enfant est dès cet âge-là capable de rotation mentale à condition que le mouvement reste en relation avec ses capacités biomécaniques réelles. Dès 5 ans, l'enfant a une capacité de représentation de mouvement en rotation, cependant à l'âge de 7 ans, le système gagne en précision.

Suite à une pathologie cérébrale (hémiplégie), grâce à la plasticité, le cerveau a une capacité de compensation spontanée (amputation, AVC), la thérapie contrainte est maintenant utilisée dans différentes équipes (Lyon, Kerpape). Confronté à une tâche, à une stimulation, le réseau de fonctionnalité entre les neurones se modèle et façonne le cerveau de telle sorte que celui-ci devienne de plus en plus efficace. **La répétition** façonne l'activité du cerveau. Une énergie moindre est nécessaire pour un même mouvement, la zone du cerveau sur l'IRM est plus concentrée.

La thérapie miroir et la thérapie contrainte sont utilisées en neurologie en France (Kerpape, Lyon) pour des enfants hémiplegiques, la littérature à ce sujet est riche de nombreuses publications. Ces traitements sont utilisés à partir de 7 ans à Kerpape.

**Capter l'attention pour bien utiliser la main.** Beaucoup de traumatismes de la main ont lieu dans des moments de fatigue, par perte d'attention. Chez le dyspraxique la capacité d'attention est réduite c'est un facteur de handicap. Le thérapeute par ses observations cliniques peut quantifier l'attention de l'enfant, **elle peut être stimulée**.

Aider l'enfant à se concentrer, à être attentif est un précurseur à l'apprentissage, de plus l'environnement calme est favorable en neurologie centrale.

L'attention visuo-spatiale est essentielle pour les exercices avec une cible.

L'imitation grâce aux neurones miroirs peut être un outil de rééducation dès le plus jeune âge.

Les fonctions exécutives évoluent en fonction de l'âge elles sont modifiées chez un enfant souffrant d'une pathologie neurologique. Traumatisme crânien, hémiplégie, tumeur cérébrale perturbent ces fonctions. Les

capacités d'inhibition en lien avec le cortex frontal, les facultés de flexibilité et de fluidité sont parfois amoindries. **L'apport de cette connaissance se situe dans le choix de nos exercices, de leurs difficultés et du contexte.** Ces fonctions sont sollicitées dans la vie quotidienne.

La mémorisation : en rééducation, la mémoire des gestes pourra être sollicitée par la répétition et aidée par la verbalisation et des explications adaptées à l'âge de l'enfant.

Avant 3-4 ans, la mémoire procédurale est prédominante, elle est inconsciente et permet de construire des schèmes moteurs. L'augmentation des possibilités de mémoire de travail donnera l'accès à des exercices plus complexes.

**La simple vue d'objets** active les neurones canoniques. Présenter des objets pourra déjà solliciter la partie cognitive du geste.

**L'utilisation du verbe d'action** active les zones corticales motrices du cortex moteur primaire correspondant à l'action.

**L'utilisation des vibrations ne présente pas de contre-indication.** Cependant d'après les travaux de J. Guibert et C. Assaiante, l'intégration sensorielle a lieu à 9 ans. Développée par Roll en 1989, elles sont de utilisées pour créer un leurre sensoriel, une illusion de mouvement. Les vibrations ont une action au niveau du système somesthésique, sur la sensibilité haptique.

Compte tenu de l'absence d'intégration proprioceptive avant l'âge de 7 ans, serait-il possible de les utiliser antérieurement en rééducation ?

### **3.6. Les nouvelles technologies.**

L'utilisation d'outil de **réalité virtuelle** est en plein essor. La modernité amène un certain intérêt pour la nouveauté. Cependant, des travaux de recherche soulignent la croissance prolongée du système visuel et certains effets délétères de ces utilisations. La maturation des sens est à respecter dans leurs évolutions, leurs intégrations.

Jusqu'à 9 ans, l'intégration des système auditif, visuel et proprioceptif n'est pas encore mature. D'autre part, le robot utilisé à la place de l'humain n'amène pas la même activité corticale. Une étude en pédiatrie est en cours en France à Bordeaux pour des enfants de 7ans.

NB : Le gray, grâce à une salle adaptée uniquement pour la réalité virtuelle, permet à l'enfant de solliciter son équilibre, ses membres supérieurs et son adresse. Un seul centre de rééducation pédiatrique le possède en France, au centre PEP à Nice.

**L'arméo-spring pédiatric** est une orthèse mécanisée avec compensation antigravitaire ajustable. Elle permet une rééducation au niveau du membre supérieur et de la main pour les jeunes patients à partir de 7

ans. Elle est souvent utilisée en neurologie (lésion médullaire haute, hémiplegie). La rééducation avec biofeedback virtuel en 3D et un capteur de préhension facilitent la thérapie intensive pour le membre supérieur par apprentissage d'une tâche spécifique. Tous les exercices d'entraînement s'appuient sur un environnement de réalité virtuelle. Aucune étude de validation n'existe en pédiatrie. Une seule structure le possède en France, à Nice.

La **Wii** peut être utilisée pour le membre supérieur, la prise manuelle est standard, le côté ludique et le biofeedback sont stimulants. Son utilisation est couplée avec d'autres formes de rééducation.

### 3.7. L'appareillage.

Un lien avec un service d'ortho-prothèse permet le plus souvent d'appareiller l'enfant suite à une réflexion collective entre parents, chirurgien et ortho-prothésiste voire kinésithérapeute et ergothérapeute.

En structure de ville, seul le petit appareillage est réalisé.

#### 3.7.1. Les orthèses

Alliée indispensable pour stabiliser, repositionner, consolider, l'orthèse devra être vérifiée et refaite régulièrement du fait de la croissance de l'enfant.



Orthèse réalisée à 2 jours, pour une pathologie congénitale (1 et 2), et orthèse de repositionnement du pouce suite à une malformation .(3)

Les orthèses peuvent être utilisées quelques jours après la naissance en cas de paralysie obstétricale, d'arthrogrypose, ou autre malformation congénitale. **Les consignes de port et d'hygiène** sont indispensables compte tenu de la finesse de la peau de l'enfant.

**L'imprimante 3D** commence dans certaines structures à suppléer et enrichir la main du praticien (Kerpape, Paris). Les réalisations sont encore longues en temps, et permettent des appareillages à moindre coût. Des prothèses bioniques pédiatriques peuvent être réalisées grâce à elle.

### 3.7.2. Les prothèses.

L'évolution du schéma corporel amène à une certaine réflexion sur le moment de mise en place de l'appareillage. Selon les équipes, il peut être introduit à 2 mois dans le cadre de pathologie congénitale, voire quelques jours après la naissance (Lille). Certains les préconisent vers 6-7 ans.

La mise en place de l'appareillage de façon précoce permettra une intégration dans le schéma corporel si il est bien supporté.

Par exemple, en cas d'agénésie radiale, l'enfant pourra s'exercer dans ses réactions type « parachute » s'il est appareillé tôt, l'intégration de sa prothèse sera différente par rapport à un enfant qui le serait plus tard. Il aura une autre adaptation de son schéma et son image corporels, son handicap évoluera sous un autre regard.

En fonction du choix réalisé, les différents capteurs sensoriels seront stimulés différemment.

Les prothèses bioniques réalisées avec une imprimante 3D suppléent une fonction. Elles peuvent être utilisées lors de certaines activités en cas d'agénésie radiale par exemple.



18.

Les prothèses de vie sociale permettent l'utilisation des outils.

Les prothèses électriques dernière génération, utilisées à Lille chez les enfants **en fonction du choix des parents**, montrent une technologie de pointe en termes de mécanique. Elles seront mises en place à partir de 10 ans. D'après l'expérience thérapeutique de Lille, elle est mieux supportée si elle est précédée d'une prothèse de vie sociale. L'enfant s'est déjà habitué au poids de celle-ci.



19.

elle peut être reliée à un I phone.

Main bionique à 5 moteurs,

Utilisée à Lille en service pédiatrie pour les agénésies congénitales de la main, la main bionique sera mise en place après un essai prothétique d'un mois pour la stabilité du moignon. Un apprentissage avec un appareil de myofeedback permet une adaptation plus performante.

L'intégration de la prothèse dans le schéma corporel de l'enfant sera remarquée au quotidien par la sensation de manque en son absence.

En fonction de l'âge du début de port d'appareillage et de la personnalité de l'enfant, le vécu et le ressenti seront différents. La prothèse participe à la construction psychologique.

### **3.8. L'éducation thérapeutique.**

Le rôle de l'éducation thérapeutique est essentiel. Le support vidéo sur téléphone et tablette permet aux parents d'avoir un tutoriel. Ils peuvent s'y rapporter s'ils ne sont plus sûrs des exercices dont la réalisation leur a été confiée.

Face à l'évolution du système de santé, au syndrome d'hospitalisme des enfants, l'éducation thérapeutique est un **relais**. La continuité avec le soin a un sens, c'est un vecteur d'efficacité. Elle crée de la stimulation, de la connexion et plus de la vigilance. Elle permet d'éduquer les patients sur l'appareillage et son entretien, sur la pathologie, son évolution, la prévention secondaire si elle est possible et sur d'éventuels exercices à privilégier.

Par ses soins, les parents créent un rapprochement avec l'enfant et sa pathologie, et ce qui permet de mieux l'accepter. La participation des parents peut avoir un rôle déculpabilisant.

La stimulation, le choix des jeux vont dans le sens du soin. Des exercices de motricité pourront amener un caractère ludique à l'utilisation de la main et seront stimulants pour l'enfant : mimes, jeux de doigts, imitations.

En fonction des indications thérapeutiques, avec la famille, des activités peuvent prolonger la rééducation dans certains cas. La peinture à doigt stimule la main et la créativité, il peut faire de la pâte à sel, des dessins créatifs.



Lucas, 4ans

Il sera important de faire prendre conscience aux parents des capacités d'imitation de l'enfant, ce qui conduit les parents à devenir « des acteurs du soin ». C'est déjà tendre la main à l'enfant.

L'éducation thérapeutique donne un cadre. Les parents ont un rôle dans le développement sensorimoteur de la main de l'enfant.

« La capture d'objet, la présence d'un objet dans la main de l'enfant est essentielle dès les premiers jours » dit Antoine Baiada.

### 3.9. Les aides techniques.

Le travail en étroite collaboration avec les ergothérapeutes permet le choix d'aides techniques adaptés pour les repas (couverts, verres adaptés, tapis antidérapant) et un dossier ajusté pour une bonne posture.



Enfant polyhandicapé jouant avec une s

Un Joy stick peut être aussi un moyen d'adaptation pour la Wii.

Les orthèses d'adaptation aux couverts, à l'écriture peuvent participer à plus d'autonomie.

## CONCLUSION.

Et l'enfant deviendra un homme ou une femme devenu capable de manier les outils, de fabriquer, d'écrire et de développer tout un univers.

La main est un médiateur physique de connaissances, d'actions, de pensées et de créations.

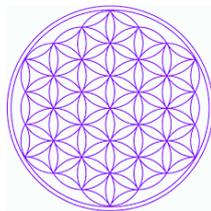
« L'homme pense parce qu'il a des mains » disait Anaxagore.

Le développement des habiletés manuelles chez l'enfant montre à quel point la main, le toucher en lien avec le cerveau ouvre un vaste champ de possibilités et de connaissances.

D'abord corporels, puis matériels avec l'objet et l'outil, les découvertes de l'enfant vont lui permettre de maîtriser son univers grâce à ses composantes anticipatives.

En continuité à la préadaptation du geste montrée in utero à 22 semaines, la main est devenue sensuelle, émotionnelle, communicante, joueuse, organisatrice, créative, travailleuse, écrivaine.

Elle est l'interface entre l'intelligence formelle (main outil), le monde psychique (langage, émotion, sentiment) et l'Autre (relation, communication).



## DEFINITIONS

-**Sensorielle (CNRTL)** qui concerne les sens, relève des sensations, des fonctions psycho-physiologiques dans leurs différentes modalités.

-**L'intégration sensorielle (Larousse)** est cette capacité à sentir, à percevoir des informations d'un état diffus à un état constant afin d'en constituer un tout organique à travers le corps. La réception ou l'intégration sensorielle a lieu lorsqu'un organe sensoriel (les yeux, les oreilles, la main) est stimulé. Lorsqu'un organe est intact, les stimuli sensoriels sont envoyés au cortex. L'information peut alors être traitée, organisée et utilisée pour la conception d'un plan d'action. Leurs activités sont coordonnées à tous les niveaux de traitement. Les afférences passent par un relais le thalamus et transitent dans le cortex sensoriel primaire. Elles convergent ensuite vers des zones dites associatives afin d'intégrer les différentes modalités sensorielles et constitue une représentation intégrée de l'environnement et de soi. Différentes informations sont traitées dans des zones spécifiques du cerveau interconnectées entre elles.

-**La perception sensorielle** fait référence à la capacité du cerveau d'interpréter l'information transmise par les organes récepteurs. C'est une opération psychologique complexe par laquelle l'esprit en organisant les données sensorielles, forme une représentation des objets extérieurs et prend connaissance du réel (CNRTL).

-**La gnosie sensorielle** est la faculté qui permet de reconnaître par l'un des sens (toucher, vue.) la forme d'un objet, de se le représenter et d'en saisir la signification.

-**La latéralité** est la dominance fonctionnelle d'un côté du corps humain sur l'autre.

-**La coordination** donne la définition d'une mise en ordre, c'est un agencement calculé d'un tout selon un plan (Larousse).

- **La douleur** est définie par LIASP comme une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable liée à une lésion tissulaire existante ou potentielle. Elle est cependant utile, elle signale une anomalie.

- **L'affordance** rend compte de l'adaptation d'un individu à son environnement.

- **Prégnant** qui s'impose à l'esprit et fait une forte impression.

- **La représentation** (Larousse) issu du latin, c'est une action de présenter de nouveau. Image mentale d'un projet donné.

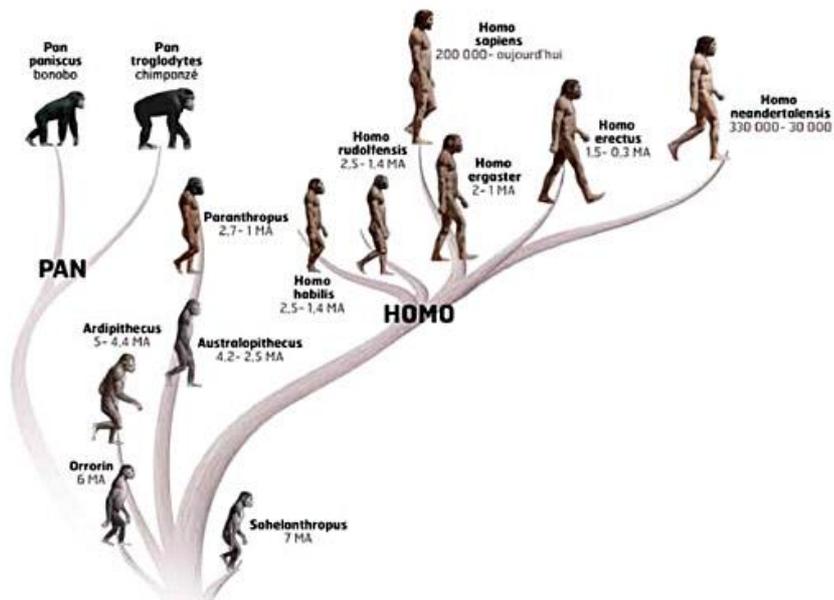
-**Une praxie** (Larousse) c'est l'ensemble de mouvements coordonnés orientés vers un but. Une intention voire une réalisation pratique est orientée. Des contractions musculaires mises en jeu doivent être bien réglées en termes de force, vitesse et rythme afin de respecter l'intention, commandant l'exécution du mouvement.

-**Le schéma corporel** est la représentation que chaque individu se fait de son propre corps et de sa position dans l'espace, il est fondé sur la représentation interne de la géométrie de son corps, de sa dynamique et de son orientation par rapport à la verticale et aux segments entre eux ou à l'environnement (Head et Holmes 1911).

-**La préhension** :(Robert, 1998) faculté de saisir avec un organe approprié.

-**La dextérité** :(Larousse) est l'adresse de la main dans l'exécution de quelque chose.

## ANNEXE 1. L'évolution de l'homme



DATE	Espèce	Capacité	Main	Outils	Activités	Divers
-300 MA	Crossoptérygien poisson		Nageoire pectorale, palette			Vit dans l'eau
-295 MA	Mammalien	380-450	Appui sur 5 rayons divergents			
-200MA	Mammifère insectivore		le 1°rayon devient opposable			
-70 MA	1°primate					
-22MA	Hominoïde chimpanzé	Modification du trou occipital	Le 1° rayon évolue, dernière phalange étroite			verticalisation
-5 à 2 MA	Australopithèque, Lucy	445 à 570	Pouce court, bouts des doigts étroits			Petite taille, 1,25m
-2,5 MA	Homo habilis	540-700 importance de la scissure de Rolando	Dernières phalanges larges, très innervées	5 à 6 outils, éclats sur galets aménagés, grattoirs.		Début de la pensée réfléchie,
-1,6 MA	Homo erectus	900-1100		Une dizaine d'outils, bifaces, taille de l'os, pierres taillées.	Apparition du feu, chasse, de la vie sociale	Début de la symétrie (silex taillé)
-600 000	Homo sapiens Néanderthalis, L'homme de Cro-Magnon	1500 : asymétrie hémisphérique, la latéralité	Scaphoïde et grand os plus petit, pouce court /homme, pouce opposable	60 outils, taille de silex (technique levalloisienne)	Art	Mesure 1,55m Apophyse unciforme plus courte
-150 000	Homo sapiens	1500	Main semblable à l'homme moderne		Art, esthétique,	Trapèze de même forme/homme actuel
	Homme moderne	Homonculus, circonvolution, voie associative, 30 aires visuelles, cortex frontal				Les neurones miroirs se développent



Fresque de la grotte de Gargas à Saint Berthrand de

Cominges

Sources : -L'homme avant l'homme, le scénario des origines, Herbert Thomas, Edition Decouverte Gallimard, 2004.

-La main et l'hominisation, Jean Piveteau, Edition Masson, 1991.

- Au commencement était l'homme, Edition Odile Jacob, 2003.

- Mains et préhension, Michel Boutan, Vincent Casoli, Edition Sauramps médical, 2005.

- Evolution, la saga de l'humanité, Dossier pour la science, janvier- mars 2017, page 31-51.

- La main dans la préhistoire, Les dossiers de l'archéologie, n°179, page 32 à 45.

- Site « Hominidé. Fr »

## ANNEXE 2 : Le développement embryologique de la main

La croissance harmonieuse des membres et de la main débute lors de la gestation.

**Une malformation congénitale** peut résulter d'une mutation génétique, d'une inhibition lors du développement, voire d'une insuffisance de formation du mésenchyme. Des facteurs de croissance, des mécanismes moléculaires, des facteurs de transcription et des protéines permettent le bon déroulement de l'expression de certains gènes. Une perte de contrôle de l'apoptose, et des brides amniotiques peuvent désorganiser la maturation normale du squelette.

Les progrès de la génétique moléculaire ont permis d'identifier certains gènes dont les mutations sont impliquées dans la genèse de la pathologie.



**L'échographie** actuellement en 4 dimensions, devenue systématique permet le dépistage précoce dans l'exploration de la morphologie du fœtus. L'examen du membre supérieur est systématique depuis 2005, une malformation peut être visible dès le 3<sup>e</sup> mois lors de l'examen des 4 membres.

Au deuxième trimestre, les aspects des doigts et des phalanges sont visualisables, la main est à cette période ouverte.

### PERIODE EMBRYONNAIRE

**De la 1<sup>e</sup> à la 3<sup>e</sup> semaine**, à partir de la morula, le blastocyste s'implante dans l'endomètre utérin.

**À la 2<sup>e</sup> semaine** de gestation, deux couches de cellules sont en place.

**À la 3<sup>e</sup> semaine**, la gastrulation permet l'individualisation de la chorde, il en résulte 3 feuillets embryonnaires primitifs : endoderme, mésoderme, ectoderme. Le développement du système nerveux est précoce et rapide. Il débute par la neurulation et en dehors du corps calleux toutes les structures sont en place vers la 12<sup>e</sup> semaine. A ce stade de neurulation, l'embryon mesure 2 mm.

À la fin de la 3<sup>e</sup> semaine, la métamérisation cranio-caudale à l'origine des somites débute.

**Au cours de la 4<sup>e</sup> semaine**, l'embryon, assimilé à une sphère creuse, est constitué de deux hémisphères séparés par le disque embryonnaire, il est d'abord plat. Il va ensuite se plier et former un cylindre, cela permet les caractéristiques de base du plan d'organisation de l'embryon.

Devenu tri-dermique, il présente **une polarité dorso-ventrale et cranio-caudale**.

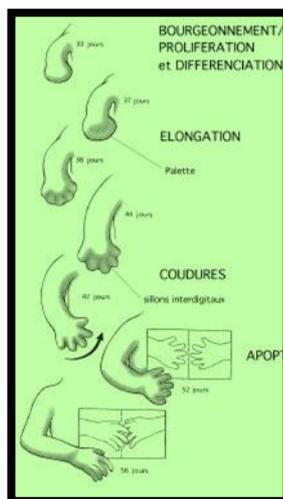
Il commence alors une **période très dynamique de différenciation**, de développement et de modifications morphologiques. Les feuillets primitifs se différencient de façon spécifique.

**Au 24<sup>e</sup> jour** de développement, les bourgeons des membres supérieurs débutent, ils apparaissent dans la région cervicale de l'embryon et sont constitués d'un axe mésenchymateux recouvert d'épiblaste, ils croissent jusqu'au 47<sup>e</sup> jour.

**L'évolution des bourgeons est stéréotypée** et suit un **calendrier rigoureux**.

**Aux 26-27<sup>e</sup> jours**, les bourgeons des membres supérieurs se développent de la zone proximale vers l'extrémité distale.

**Aux 28-30<sup>e</sup> jours**, les bourgeons des membres supérieurs sont allongés. L'ébauche des bourgeons des membres inférieurs se met en place.



Source : Atlas d'embryologie humaine de Netter, Larry R. Cochard, édition De Boeck, 2015.

**De la 5<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> semaine**, la morphogénèse du membre supérieur s'effectue, le développement global du bourgeon s'organise selon **3 axes** :

1 ; l'axe proximo-distal, 2 ; une polarité antéro postérieure et 3 ; l'axe ventro-dorsal.

**Pour l'axe 1**, la prolifération des cellules mésenchymateuses a lieu selon cet axe et permet le développement des trois segments de membres.

**Pour l'axe 2**, le mésenchyme s'organise, contrôle et permet le développement et la spécification de chaque doigt selon une orientation de 1 à 5.

**Pour l'axe 3**, détermine les deux compartiments des fléchisseurs et des extenseurs.

**À la 5<sup>e</sup> semaine** : à l'extrémité de chaque bourgeon, le mésoblaste crée un **épaississement du feuillet ectoblastique, la crête ectoblastique apicale**. Elle permet la croissance proximo-distale du membre par l'action inductive d'un **facteur de croissance**. Le mésoblaste en contact de la crête prolifère et les cellules profondes se différencient en cartilage et en muscles. L'axe mésenchymateux recouvert d'un feuillet ectoblastique est à l'origine des os et des parties molles des membres.

**Grâce à une condensation du mésoblaste**, les éléments squelettiques se forment par un mécanisme d'**ossification enchondrale**. D'une ébauche cartilagineuse, ils vont s'ossifier.

Cette ossification, lente s'arrêtera à la douzième semaine pour les phalanges et après la naissance pour certains os du carpe, **33 zones épiphysaires ne seront pas encore ossifiées à la naissance**.

(Bouchard, 2009, Charvet, 2006).

**À la 6<sup>e</sup> semaine**, chaque ébauche de membre comprend un segment proximal, un intermédiaire : le coude et un, distal qui formera la main. Ce dernier prend une forme aplatie **en palette**, elle présente à sa périphérie, un épaississement **la plaque digitale**.

Le segment proximal se divise en deux segments distincts à l'origine du bras et l'avant-bras.

**Au 38<sup>e</sup> jour**, la plaque digitale devient crénelée, elle fait apparaître les rayons digitaux à l'origine des cinq doigts. Par un phénomène d'**apoptose**, les sillons interdigitaux se creusent. Les 5 doigts s'individualisent, ils sont distincts avec des palmures. Les plus centraux sont les premiers visibles, suivis des doigts périphériques. Les membres supérieurs s'allongent et se fléchissent.

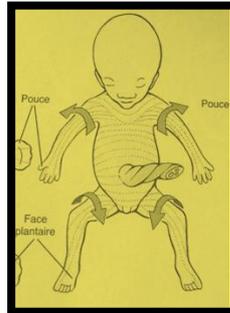
Si le phénomène d'apoptose n'a pas lieu, les doigts peuvent rester palmés.

**Dès la 7<sup>e</sup> semaine**, les cellules de l'embryon se multiplient à un rythme infernal, 100000 cellules apparaissent chaque minute, les cellules commencent à se connecter et forment les voies nerveuses primitives : les nerfs, les ganglions, les méninges se forment, la moelle épinière se différencie. Les membres s'allongent et se différencient.

**Entre 7<sup>e</sup> et la 8<sup>e</sup> semaine**, le fœtus peut avoir des sursauts, des mouvements brusques des bras et des jambes. Les pieds et les mains se rapprochent.

**Au cours de la 8<sup>e</sup> semaine**, à l'extrémité de chaque doigt, des coussinets tactiles apparaissent sous la forme de renflements.

Parallèlement, autour de l'axe proximo-distal, le membre supérieur change d'orientation, il se passe une **rotation latérale autour de cet axe**, une flexion à l'origine des coudes et une pronation de la main. Cela la ramène sur la ligne médiane.



Source : Atlas d'embryologie humaine de Netter, Larry R. Cochard, édition De Boeck, 2015.

**Après la 8<sup>e</sup> semaine**, les bourgeons sont colonisés par les cellules, ils donneront naissance à la musculature des membres supérieurs.

Après leur apparition, la partie latérale des somites envoie des cellules qui vont créer la **musculature du membre supérieur**. Les éléments musculaires résultent de la différenciation des myofibroblastes en **2 masses condensées** : une **ventrale** et une **dorsale** par rapport à l'ébauche squelettique. La masse musculaire **dorsale** produira les **extenseurs et les supinateurs des membres**, alors que la masse musculaire **ventrale** sera à l'origine des **fléchisseurs et des pronateurs**. La sensorimotricité apparaît avec les muscles et une structure intermédiaire, le neurone permet la mobilité.

L'innervation des bourgeons des membres supérieurs est assurée par les branches ventrales des nerfs spinaux de C5 à D1 convergeant à la racine des membres, elles forment le plexus brachial.

Les dermatomes sont constitués.

**À 10 semaines in utero**, les mains commencent à réagir. Le premier sens à se développer est tactile. L'enfant suce parfois son pouce in utero à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine (Fagard, 2012) et à 20 semaines, l'ensemble du corps est en mouvement.

**À 12 semaines**, le développement des sens a débuté, le goût, l'olfaction, le tact et le sens de l'équilibration, et à 20 semaines l'ouïe et la vue. Le toucher se développe, tout le corps réagit à des impressions tactiles.

**À la 25<sup>e</sup> semaine in utero**, les voies de la sensibilité de la douleur sont en place (Slater et al 2006). Leur ontogénèse se poursuit au cours du dernier trimestre et les premiers mois de vie.

Dès la première partie de grossesse, le cerveau est bien individualisé, les deux hémisphères cérébraux sont présents, la multiplication des cellules neurales bat son plein. L'absence des circonvolutions donne au cerveau un aspect lisse.

**Dès 5 mois**, l'œil est quasiment terminé. Le système vestibulaire est mûre tôt à 5 mois de gestation.

**A partir de 6 mois**, les sillons et les circonvolutions du cerveau apparaissent.

**Période fœtale au 7<sup>e</sup> mois**

Elle permet la croissance et l'élaboration des structures déjà présentes. Les mouvements fœtaux dans la cavité amniotique sont cruciaux, ils restent cependant limités par manque de place.

Dès la 30<sup>e</sup> semaine de gestation, le système auditif est fonctionnel (Durand et Lécuyer, 2009).

Source :

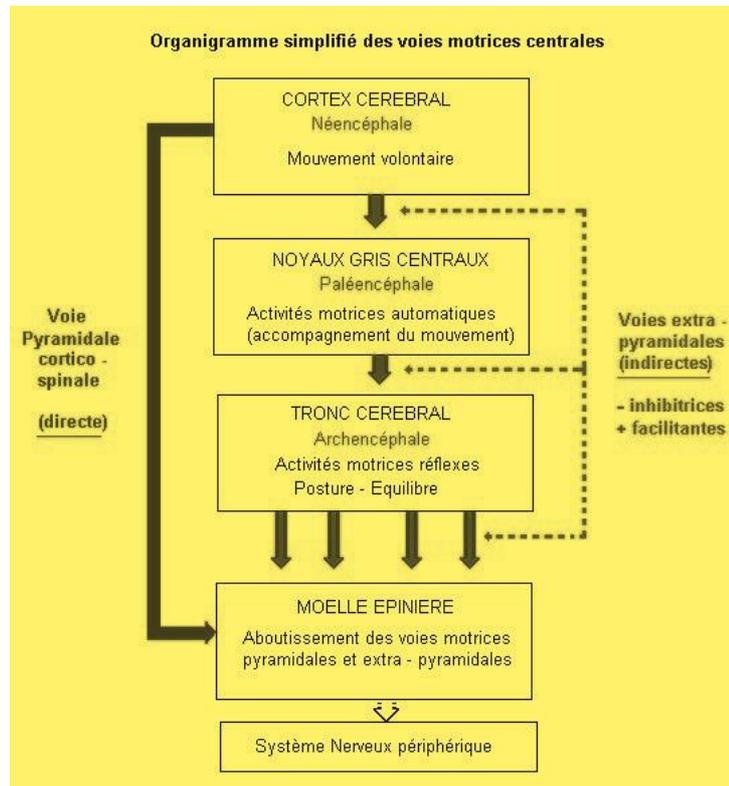
- La main : embryologie et principaux mécanismes malformatifs, J.Perrin, C. Geoffroy-Siraudin, C.Metzler-Guillemain, 2008.
- Malformations congénitales de la main et génétique. N. Philip-Sarles, 2008.
- Diagnostic prénatal des anomalies réductionnelles des membres supérieurs, A. Potier, 2008.
- Atlas d'embryologie humaine de Netter, Larry R. Cochard, édition De Boeck, 2015.
- Embryologie humaine, Larsen, édition De Boeck, année 2002.

### ANNEXE 3 : Le cerveau

Au fil de l'évolution de l'espèce, de nombreuses structures se sont reliées entre elles.

**Trois cerveaux se sont réunis en un** : le cerveau archaïque, le cerveau émotionnel et le néocortex.

Un organigramme simplifié est présenté ci-dessous :



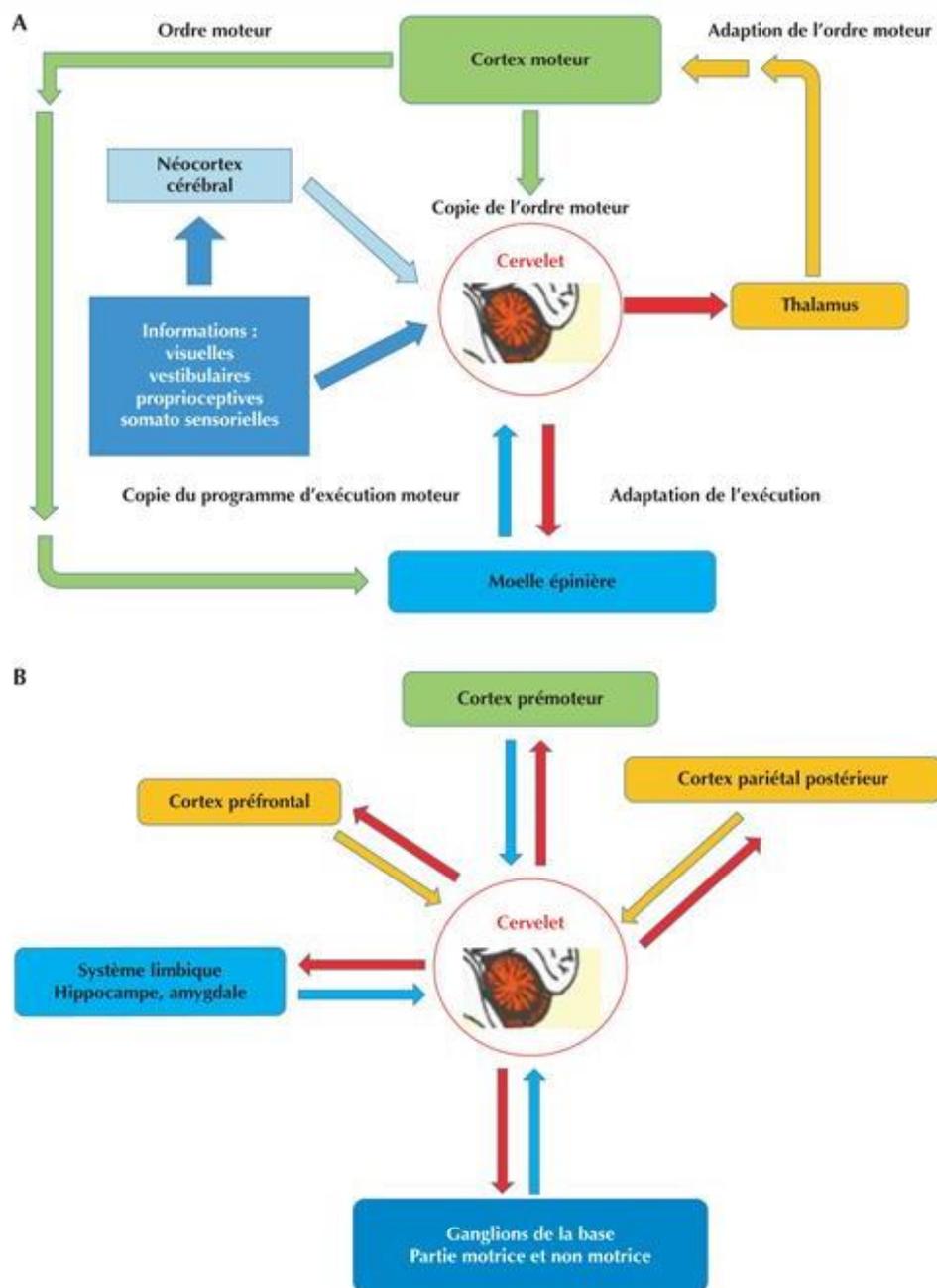
Photos 25.

1) **Le cerveau archaïque (archencéphale)** : est la partie la plus ancienne du cerveau humain. Il comprend le tronc cérébral et le cervelet. Les structures sous-corticales sont des structures internes situées sous le cortex cérébral, elles régulent les fonctions primaires (respiration, alimentation, les fonctions physiologiques essentielles). Elles ont pour fonction de déclencher des comportements instinctifs de survie, l'activité motrice réflexe, les réflexes posturaux, l'équilibre ....

**-Le cervelet** est situé en arrière du cerveau sur la base du crâne, il participe à la motricité fine et à la dextérité motrice. **Il double de volume la première année de vie.** Il a un rôle fondamental pour l'acquisition de l'équilibre, la précision du geste de la marche et l'apprentissage moteur.

Un des aspects est son rôle central dans la fonction motrice.

Le schéma ci-dessous montre les différentes interactions qu'il a avec d'autres structures.



**Photos 26.**

-**Le tronc cérébral** : il fait partie de structures sous-corticales et participe à la régulation des fonctions primaires.

2) **Le cerveau émotionnel (paléocéphale)**, il est apparu chez les premiers mammifères. Il est composé de différentes structures reliées entre elles : l'amygdale, l'hippocampe, l'hypothalamus, le cortex cingulaire, le cortex préfrontal, l'insula, le noyau accumbens, le septum et les ganglions de la base. Il joue un rôle régulateur du cerveau archaïque et aide à contrôler les réactions d'attaque et de fuite.

- **L'amygdale** est essentiel pour le décodage des émotions en particulier par rapport à des stimuli menaçant pour l'organisme.

- **L'hippocampe** est une région du cerveau localisée dans le lobe temporal. Il est impliqué dans la mémoire à court terme et la navigation spatiale.

- **Le système limbique** est l'ensemble des zones du cerveau connu pour jouer un rôle dans l'olfaction, la mémoire et la régulation des émotions.

-**L'hypothalamus** participe à la régulation hormonale.

- **Le cortex cingulaire** est impliqué dans la détection des erreurs, la surveillance de réactions, des conflits, l'anticipation, l'attention, la motivation et la modulation de la réponse émotionnelle. Une subdivision ; le cortex cingulaire antérieur permet de focaliser l'attention sur certains aspects de l'environnement.

- **Le cortex préfrontal** participe à la réflexion, au raisonnement, à l'imagination, au langage, à l'attention visuelle, à la mémorisation, à la conscience de soi et à l'empathie. Il va permettre la **planification des mouvements** indispensable au geste. L'apprentissage par les neurones miroirs passe par cette zone. Il continue sa maturation jusqu'à 25 ans. C'est une sous-division du cortex frontal.

-**L'insula** : joue un rôle dans les émotions, la perception, le contrôle moteur et la conscience de soi.

-**Les ganglions de la base (les noyaux gris centraux)**, sont reliés entre eux par des liens étroits et ont un rôle indirect sur le système moteur. Ils se projettent sur le cortex moteur, prémoteur et l'aire motrice supplémentaire et facilite l'initiation du mouvement. Ils reçoivent les informations du cortex cérébral.

-**Noyau accumbens** : joue un rôle dans la récompense.

**3) Le néocortex (cortex cérébral)** : le cerveau supérieur, il a commencé son développement chez les primates il y a -2- à 3 MA et représente 85% du volume cérébral total. Il est divisé en lobe frontal, pariétal, temporal et occipital. Il est impliqué dans les fonctions cognitives comme la conscience, le langage, les perceptions sensorielles, les commandes motrices volontaires, l'apprentissage.

Le néocortex a un an est encore immature.

- **Le cortex cérébral** est la couche externe du cerveau appelée matière grise. Elle contrôle différentes fonctions élémentaires et élaborées : des 5 sens à la mémoire.

- **Le cortex frontal** est constitué de quatre zones du cerveau situées derrière le front, il a un rôle crucial pour le langage, la planification, le raisonnement, l'attention et le mouvement volontaire. Il est associé à certains aspects de la mémoire.

- **Le cortex pariétal** est situé à l'arrière du lobe frontal, il collecte les différentes informations sensorielles et permet d'avoir une perception appropriée dans l'espace et de sélectionner les informations visuelles.

- **Le cortex temporal** est localisé derrière l'oreille, il régule de nombreuses fonctions telles que l'audition, le langage, la mémoire et certains aspects de la vision.

-**Le cortex occipital** est situé à l'arrière de chaque hémisphère cérébral, il est très actif lorsque l'on regarde un objet.

-**Le cortex visuel** est constitué de **5 aires Visuelles principales** :

\*V1 aire de projection visuelle primaire.

\*V1 et V2 envoient les informations à V3 (reconnaissance des formes)

\*V4 (reconnaissance des couleurs)

\*V5 (reconnaissance des mouvements)

**Le cortex associatif** : le corps calleux, les aires associatives établissent de multiples connexions entre les hémisphères. La maturation du corps calleux dépend du processus de myélinisation qui a lieu entre 6 à 10 ans.

**Il existe deux voies motrices décrites précédemment :**

- **la voie cortico-spinale (pyramidale)** : elle comprend les zones motrices du cortex, les voies cortico-spinales et les noyaux gris centraux.

- **la voie sous-cortico-spinale (extra-pyramidale)** : elle est issue du tronc cérébral et comprend des faisceaux, un tractus, la formation réticulée et des noyaux vestibulaires, elle est connectée au cervelet.

**Quelques zones du cerveau spécifiques ont été décrites pour certaines fonctions:**

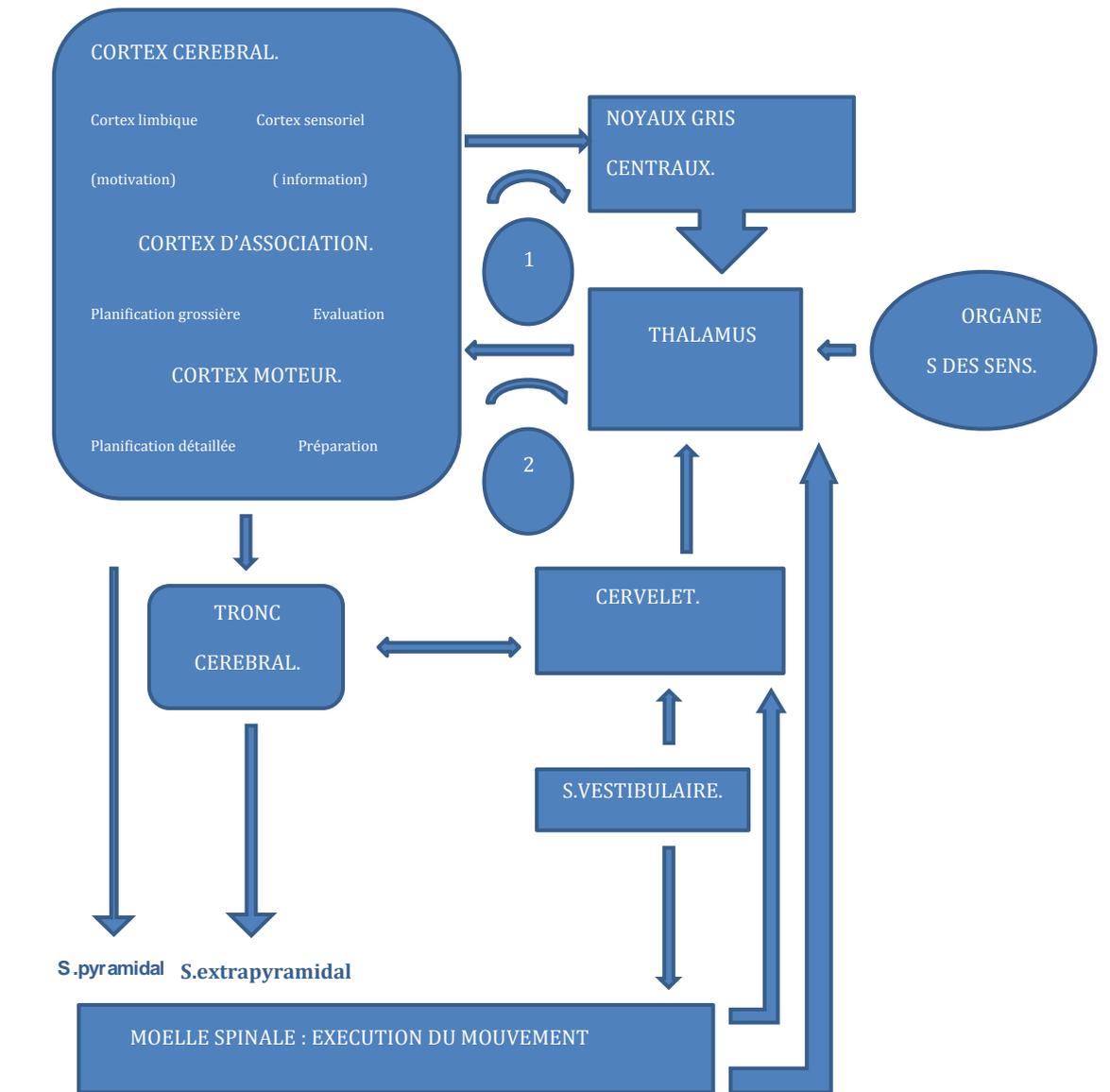
- **Dans les fonctions exécutives**, le cortex préfrontal, le striatum et les aires pariétales sont impliqués.
- **La mémoire de travail** est en lien avec le cortex préfrontal, la maturation du cortex cérébral et de l'hippocampe.
- **Les neurones miroirs** siègent dans le lobe pariétal inférieur et l'aire intra-pariétale antérieure, il existe un réseau fronto-pariétal de neurones miroirs (Chéron, 2011). Ces neurones sont situés dans l'aire frontale (gyrus frontale, cortex prémoteur), le cortex pariétal (le lobe pariétal inférieur) et les aires occipitales.
- **L'attention visuelle ou visuo-spatiale**, l'orientation du regard et l'analyse automatique des données spatiales sont supportées par les voies occipito-pariétales et pariéto-frontales.
- **Tout geste implique la mise en action de nombreux réseaux cérébraux** : frontaux, pariétaux, ganglions de la base, cervelet, ils sont très interconnectés. Ces mécanismes sont d'une grande complexité.
- **La programmation motrice** repose aussi sur les réseaux prémoteurs en lien avec les réseaux frontaux, les ganglions de la base et le cervelet.
- **Le contrôle volontaire** est lié au gyrus cingulaire antérieur et au cortex préfrontal, il intervient sur les pensées, les sentiments, la correction des erreurs et les planifications des actions nouvelles.
- **La réalisation du geste**, l'intensité des décharges des ganglions de la base joue un rôle capital dans la prise de décision, celle-ci augmente en cas de satisfaction.

**Sources** : - Atlas d'anatomie Prométhée. Edition Noto. Edition de Boech, 2017.  
 -Le cervelet : Des trouble moteur à l'autisme, Roux Sébastien, Revue de neuropsychologie, page 182-191.  
 -Neurosciences : à la découverte du cerveau, Bear, Edition Pradel, 2006.  
 -Neuropsychologie de l'enfant : trouble de l'apprentissage, Mazeau Michelle, année 2014.  
 - Site : Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants, la maturation corticale, consultation avril 2017.

# LES VOIES MOTRICES

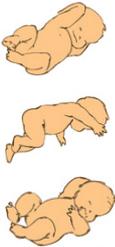
Source : Atlas d'anatomie Prométhée. Edition de Boech, 2017 page 520.

Légende : 1 Boucle des noyaux gris centraux  
2 Boucle cérébelleuse

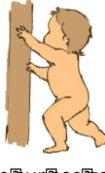


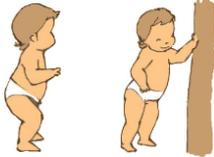
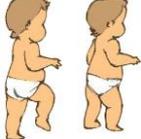
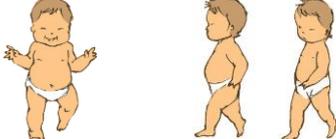
ANNEXE 4 : Evolution de la main de l'enfant et des grands mouvements de 0 à 18 mois

Ages Acquisitions	Naissance	1 mois 2 mois 3 mois
M O T R I C I T É	Hypertonie des membres, Hypotonie de la nuque et du tronc. Mouvement asymétrique	 <p>Tient la tête en position verticale. A plat ventre se soulève sur les avant-bras. Vers 3 mois découvre sa main et est capable de désengager son attention.</p>
P R E H E N S I O N	Grasping Réflexes	 <p>Ouvre la main, prend contact. Joue avec ses mains</p>
Relation aux objets  E V E I L  Relation à autrui	Est attentif à la parole	Poursuite oculaire: suit du regard un objet dans son déplacement  Découvre les objets avec les sensations qu'il éprouve au niveau de la bouche  Sourit au visage humain vu de face. Cesse de pleurer à l'approche d'une personne.
L A N G A G E	Cris et vagissements (satisfaction ou besoin)	Vocalises, babillages, aie aie aie (état de bien-être).
<p>L'enchaînement chronologique des acquisitions est constant tandis que les âges indiqués ne sont que des repères. Dans l'évaluation du développement de l'enfant, son évolution (par rapport à lui-même), la qualité de ses gestes, la harmonie de son corps et de ses mouvements, sont plus significatifs. Ils dépendent essentiellement de la qualité de l'environnement. Les variations individuelles importantes sont à discerner sous peine de confondre la normalité du pathologique.</p>		

Âges Acquisitions	4 mois	5 mois	6 mois	7 mois	8 mois
<b>MOTRICITÉ</b>	 <p>Se tourne sur le côté. A plat ventre se redresse sur les mains et tourne la tête.</p>	 <p>Se tourne du ventre sur le dos.</p>	 <p>Se tourne du dos sur le ventre.</p>		 <p>Avance rampant. Se met en position demi-assise.</p>
<b>PREHENSION</b>	Préhension cubito-palmaire.	Préhension volontaire palmaire.	Manipule l'objet, joue avec ses pieds?	Tient un objet dans chaque main. Passe l'une dans l'autre.	Pince inférieure.
<b>Relation aux objets</b>	Tourne la tête vers un bruit.	Sourit à la vue du biberon. Manifeste un plaisir d'anticipation.	Cherche à retrouver ce que l'adulte cache (devant lui).	Manifeste en pleurant quand on lui enlève son objet (émotion).	Objet transitionnel préférentiel.
<b>EVEIL</b>					
<b>Relation à autrui</b>		Fait la différence entre les visages connus et inconnus.			Réaction d'angoisse devant l'étranger (distinction du moi et du non-moi).
<b>LANGAGE</b>		Gazouille (jeu "dialogue").			Syllabes répétitives: pa-pa-pa, ma-ma-ma.

L'enchaînement chronologique des acquisitions est constant et tandis que les âges indiqués ne sont que des repères. Dans l'évaluation du développement de l'enfant, son évolution par rapport à lui-même, la qualité de ses gestes, l'harmonie de son corps et de ses mouvements, sont plus significatifs et dépendent essentiellement de la qualité de l'environnement. Les variations individuelles importantes sont à discerner sous peine de confondre la normalité du pathologique.

Acquisitions	9 mois	10 mois	11 mois	12 mois
<b>MOTRICITÉ</b>	  Se déplace à genoux	  maîtrise la station assise	  Se lève sur ses genoux puis sur ses pieds l'aide d'un appui	 Gravité des obstacles
<b>PREHENSION</b>				
	coordinations bi manuelles			
Relation aux objets	Capable de manifester toute une gamme d'émotion (joie, chagrin, inquiétude)...			Ne reste pas passif quand on lui donne à manger (intérêt).
<b>EVEIL</b>				
Relation à autrui				
<b>LANGAGE</b>	attention conjointe: il pointe du doigt.			Premier mot adapté (mot de désir, mot de sentiment)
<p>L'enchaînement chronologique des acquisitions est constant tandis que les âges indiqués ne sont que des repères. Dans l'évaluation du développement de l'enfant, son évolution (par rapport à lui-même), la qualité de ses gestes, l'harmonie de son corps et de ses mouvements, sont plus significatifs et dépendent essentiellement de la qualité de l'environnement. Les variations individuelles importantes sont à discerner soigneusement de l'anormal et du pathologique.</p>				

Âges	13 mois	14-15 mois	16-17-18 mois
<b>MOTRICITÉ</b>	 Se tient debout sans appui. Marche avec appui.	 Fait quelques pas seul.	 Marche indépendante et assurée. Monte et descend un escalier avec appui.
<b>PREHENSION</b>	 Lance un ballon dans les deux mains.	Affinement de la pince.	 capable d'enfiler de grosses perles sur un fil.
<b>Relation aux objets</b>	Utilisation du contenant et du contenu (cuillère dans une tasse, balle dans un tube).	Mange seul	Rites
<b>EVEIL</b>	Mimiques de réduction (attire l'attention des adultes).	Manifeste un intérêt pour les autres (début de la socialisation)	
<b>Relation à autrui</b>	Mot facteur déclenchant d'une situation	Phrase de deux mots. Intention significative ("papa/pati", "ni/nodo").	
<b>LANGAGE</b>	Jargon (imitation du rythme et de l'intonation du langage adulte)		

**Source :**

Les fiches pratiques de l'auxiliaire de puériculture, Dr Charvet et Tyna Niel, 2012, Edition Lamarre

### Annexe 5 : De nouvelles prises en grandissant

TYPE DE PRISE	FONCTION	DOIGTS IMPLIQUES	MUSCLES IMPLIQUES
<p>1 Prise uni latérale. Main est à plat</p> <p>Main en cuillère, à deux mains, cela représente le geste d'offrande, « Offrir »</p>	<p>Support pour l'objet. « Tenir un plat »</p> 	<p>Les doigts sont écartés</p> <p>Le pouce ferme la gouttière palmaire d'une action ferme, il vient s'appliquer contre le deuxième métacarpien et la première phalange de l'index.</p>	<p>Interosseux palmaires.</p> <p>Interosseux palmaires. Adducteur du pouce.</p>
<p>2 Prise bi digitale</p> <p>Pince pulpaire pouce-index termino-terminale.- Prise fine. « Tenir une bille »</p>	<p>Prendre un petit objet.</p> 	<p>Entre l'index et le pouce. Les 2 pulpes se regardent</p>	<p>Court fléchisseur, court abducteur, opposant du pouce</p> <p>Long fléchisseur du pouce. Interosseux du 2° doigt. Fléchisseur superficiel et profond, 1e et 2e doigt</p>
<p>Pince pulpo-pulpaire, oppose l'extrémité des pulpes prise semi-fine</p> <p>« tenir un stylo »</p>	<p>Prendre des objets plus gros, un stylo ou fins, serrer une feuille de papier</p> 	<p>La surface du pouce et de l'index sont en contact de l'objet.</p> <p>L'inter phalangienne distale est en flexion ou en extension</p>	<p>Fléchisseur superficiel et profond de l'index</p> <p>1e et 2e interosseux pour la flexion de P1. Court adducteur, court fléchisseur, court abducteur, adducteur du pouce voire opposant. Long fléchisseur du pouce pour la flexion de P2.</p>
<p>Pince d'opposition sub-termino latérale ou pulpo-latérale ou « key-grip ».</p>	 <p>Prendre une feuille de papier ou une pièce.</p>	<p>La pulpe du pouce s'oppose à la face latérale de la phalange moyenne de l'index.</p>	<p>Fléchisseur superficiel des doigts de l'index, stabilise la flexion de P2. Opposant, court fléchisseur, court abducteur et adducteur du pouce pour le serrage contre l'index. 1° interosseux dorsal côté index. Long fléchisseur du pouce</p>
3 Les prises multilatérales			
<p>Prise tri digitale</p> <p>« Manger avec ses mains »</p>	 <p>Pour amener les aliments à la bouche, prise universelle.</p>	<p>Pouce, l'index et le médius.</p> <p>Permet une grande stabilité et précision pour la manipulation des objets fins et petits.</p>	<p>Muscles intrinsèques</p>
<p>Prise tridigitale pulpo pulpaire.</p> <p>« Ecrire » La prise peut être tétra digitale pulpaire pollici-digitale</p>	 <p>Elle permet l'écriture avec un stylo ou tenir une petite bille.</p>	<p>La pulpe du pouce s'oppose à celle de l'index et du médius autour d'un objet. Parfois, l'annulaire participe. Il existe un appui au fond de la 1° commissure.</p>	<p>Fléchisseur superficiel de l'index. 1e et 2e lombricaux. Long fléchisseur du pouce. Court fléchisseur, court abducteur et adducteur voire opposant du pouce. -le interosseux palmaire.</p>
<p>Prise d'empaument, prise cylindrique.</p>	 <p>Prise pour les objets cylindriques, volumineux, lourds.</p>	<p>Les doigts s'adaptent à l'objet. Pour les efforts importants, les 4° et 5° doigts ont une activité prépondérante. Flexion des métacarpo-phalangiennes et des phalanges des doigts. Le pouce augmente la stabilité de la prise.</p>	<p>Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts. Interosseux, lombricaux. Muscles de l'éminence thénar et le long fléchisseur du pouce pour verrouiller la prise. Fléchisseur superficiel et profonds du 4e et 5e doigt. Muscles de la loge hypothénar.</p>
<p>Prise de force. « Tenir une boule de pétanque »</p>		<p>Le pouce est en opposition. Les 4° et 5° doigt sont plus sollicités pour une prise en force, cela permet plus de stabilité.</p>	<p>Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts. Interosseux, lombricaux. Muscles thénariens pour le verrouillage de la MP et long fléchisseur du pouce pour la flexion de l'inter phalangienne.</p>
<p>Prise digito-palmaire, prise cylindrique.</p>		<p>Le pouce est en opposition. Les 4° et 5° doigt sont plus sollicités pour une prise en force, cela permet plus de stabilité.</p>	<p>Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts. Interosseux, lombricaux. Muscles thénariens pour le verrouillage de la MP et long fléchisseur du pouce pour la flexion de l'inter phalangienne.</p>
<p>Prise palmaire à pleine main. Prise de force courante, « Tenir son verre »</p>	<p>Serrer un cylindre, un manche, un verre, un crayon, une aiguille à tricoter, la force est maximale lorsque le pouce se ferme sur l'index.</p>	<p>Le pouce est en opposition. Les 4° et 5° doigt sont plus sollicités pour une prise en force, cela permet plus de stabilité.</p>	<p>Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts. Interosseux, lombricaux. Muscles thénariens pour le verrouillage de la MP et long fléchisseur du pouce pour la flexion de l'inter phalangienne.</p>

TYPE DE PRISE	FONCTION	DOIGTS IMPLIQUES	MUSCLES IMPLIQUES
<b>Prise sphérique</b> « Tenir une bille » 	La main s'adapte à la forme de l'objet, et enveloppe un objet arrondi. Les arches se creusent. L'objet est gros : une orange : prise penta digitale ou tétra digitale. L'objet est petit : un œuf, la prise peut être à 4 doigts. La sphère est petite : une bille : prise tri digitale	 Les doigts s'enroulent sur l'objet, parfois écartés. Le pouce s'oppose à l'annulaire.	Les contractions des opposant du pouce et de l'auriculaire reussent à archer transversale. Court abducteur du pouce. Interosseux lombri-caux. Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts.
<b>Prise digito-palmaire.</b> Prise en crochet, Prise grossière « Tenir sa valise »  Prise de force, grossière mais puissante. Variante, d'agrippement.	 Permet de réaliser un crochet.	Métacarpo-phalangienne en extension. Interphalangienne en extension. Pouce n'est pas toujours utilisé.	Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts.
<b>Prise en étai.</b> <b>Prise grossière,</b> <b>« Prendre un livre »</b>		Métacarpo-phalangiennes en flexion. Doigts en extension. Pouce en regard du 3° doigt. Position « intrinsèque plus ».	Les interosseux dorsaux des doigts. Court abducteur et opposant du 1.3e et 4e lombri-caux, interosseux et +/- les hypothénariens.
<b>Prise tétra digitale pulpo-latérale</b>  Dévisser un couvercle		Le contact est large sur le pouce, sur l'index et le majeur avec la pulpe et face latérale de la première phalange.	Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts, les interosseux.
<b>Prise penta digitale.</b>  Saisir de gros objets plats		Grands écarts des doigts nécessaires, le pouce est en rétroposition et en extension.	Fléchisseur superficiel des doigts et profonds, pour la flexion des 2ères phalanges des doigts. Muscles hé-nars et long fléchisseur du pouce. Interosseux.
<b>Prise à poing fermé.</b>  Puissante et sans précision.	Pour la tenue en force d'objets de petits volumes ou de petits diamètres		Fléchisseurs superficiels et profonds des doigts. Interosseux.
<b>Quelques prises en action.</b> <b>« Faire tourner une toupie »</b> <b>« Jouer aux billes »</b>	 		

## Rappels

1) La prise unilatérale est limitée.

2) La prise bidigitale : recrute deux forces de directions opposées, entre le pouce et l'extrémité d'un doigt opposé.

3) La prise pollicidigitale s'oppose entre le pouce et l'index et parfois le majeur, les prises fines se font en flexion des articulations métacarpo-phalangiennes et en flexion intermédiaire des articulations interphalangiennes des doigts latéraux.

La Key grip : est une prise essentielle à retrouver en cas de tétraplégie, en fonction du niveau de lésion, elle pourra être reconstruite par transfert tendineux.



4) Les prises interdigitales, elles sont utilisées en cas d'amputation du pouce.

5) Les prises multilatérales : elles sollicitent au moins trois groupes de forces aux directions opposées, cela permet plus de stabilité. Il est à noter qu'au sein d'une même prise, il existe des variantes. Exemple : la prise tri-digitale.

## L'implication des doigts.

Le pouce : son rôle ne peut pas être remplacé par un autre doigt. Sa mobilité et son indépendance lui permettent de s'opposer à chaque doigt long grâce à une musculature intrinsèque spécifique. En cas d'agénésie, une pollicisation avec l'index ou un orteil est parfois réalisée.

L'index : il est capital pour les prises fines et latérales, il est considéré comme l'élément dominant des doigts longs. En cas d'amputation, son rôle est compensé en partie par le médius.

Le médius est le plus fort, le plus polyvalent, il participe aux prises fines et de force.

L'annulaire : participe aux prises digito-palmaires avec l'auriculaire. Sa perte entraîne un déficit fonctionnel moindre par rapport aux autres doigts.

L'auriculaire : est le plus médial et mobile. Il permet de verrouiller les prises digito-palmaires, il est important pour les prises cylindriques et de force.

Source : Kapandji, Qu'est ce que la biomécanique ? Adalbert I. Kapandji, Editions Sauramps médical, année 2011,  
Boutan et Casoli, Mains et préhensions, Edition Sauramps médical, 2005.  
DufourMichel, Biomécanique fonctionnelle, Edition Masson, 2005.

## Annexe 6

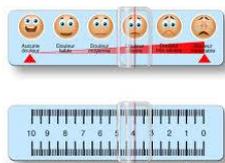
### BILAN POUR L'ENFANT DE BAS AGE

°Etat civil :

- Nom Prénom :
- Age :
- Environnement, contexte familial :
- Pathologie, consignes chirurgicales :
- Les contre-indications :
- Loisirs :
- Jeux préférés :
- Communication :

°Appareillage : orthèses/prothèses		
°Latéralité		
°Bilan de la douleur -selon le comportement de l'enfant-		
°Bilan trophique et cutané		
°Bilan articulaire passif		
°Bilan musculo tendineux		
°Bilan sensitif		
°Coordination –oculo-manuelle - b i-manuelle		
°Capacités motrices * M aintien de tête : * M aintien du tronc- position assise : * Contr ôle du bassin : * Niveau d'évolution motrice : Stade : * Type de prise manuelle / contr ôle du bras		
Schéma corporel/image du corps		
°Equilibre/réaction parachute/déséquilibre latéral :		
°Relation à l'objet, à l'outil		

Le bilan de la douleur est essentiel, il repose essentiellement dans le 1er âge sur l'observation, le comportement, par la communication par le geste et plus tard par l'échelle analogique visuelle.



- Pour la brûlure, le bilan photographique permet d'effectuer une prise de vue de la lésion et de la cicatrisation.
- Pour l'enfant de bas âge, un bilan photographique ou vidéo est utilisé dans certaines équipes (Lyon).

### BILAN DE L'ENFANT A PARTIR DE 2 ANS

Etat civil :

- Nom Prénom :
- Age :
- Environnement, contexte familial :
- Pathologie, consignes chirurgicales :
- Les contre-indications :
- Loisirs :
- Jeux préférés :
- Communication :

°Appareillage : orthèses/prothèses		
°Latéralité		
°Bilan de la douleur -selon le comportement de l'enfant-		
°Bilan trophique/cutané		
°Bilan articulaire passif		
°Bilan musculo tendineux		
°Bilan sensitif		
°La posture		
°Le contrôle postural du membre supérieur		
°Analyse de geste/but		
° Les compensations		

Pour la brûlure, le bilan photographique permet d'effectuer une prise de vue de la lésion et de la cicatrisation.

## EPREUVE DE MAINTIEN POSTURAL

L'épreuve de maintien postural sera utilisée en neurologie centrale et périphérique, elle permet de suivre la qualité du maintien antigravitaire et de la commande volontaire de l'ensemble du membre supérieur. Le contrôle postural proximo-distal est essentiel à l'utilisation de la main.

But : observer comment le sujet parvient, grâce à la commande volontaire à maintenir la position demandée.

Conditions : L'enfant est assis les pieds au sol.

Les observations cliniques et la cotation sont réalisées selon l'échelle de Tardieu de 1 à 4.

POSITIONS	POSTURE	OBSERVATIONS
Brastendu		Regarder la flexion du poignet
Main bouche		Regarder comment sont le coude, le poignet et la main
Serment		Observer la qualité du maintien postural de l'épaule
Mendiant(coude fléchi)		Regarder la main plate en flexion du coude puis redemander d'étendre le coude
Mendiant (coude tendu)		Regarder comment sont le coude et le poignet, a-t-il une insuffisance de supination
Anneau (recherche de l'opposition du pouce)		Observer la qualité du maintien et la sélectivité des doigts. Observer la posture des doigts.
Garçon		Observer le pouce, et si la main est creuse ou non.
Plateau		Placer quelque chose sur la main de l'enfant à la fin, observer les rotations. Regarder si la main est plate.

## LES BILANS VALIDES

\* Pour les fonctions supérieures :

L'utilisation en ergothérapie du test NEPSY 2, du WISC 4 et du test d'évaluation de l'attention (6- 13 ans) traduit en France en 2006 est possible.

\*Pour la dextérité :

La dextérité est mesurée pour juger le niveau et le changement de performance après la chirurgie de la main et les séances de rééducation qui lui ont succédé.

Les tests de dextérité pédiatriques ont été revus récemment.

Les tâches de manipulation et la dextérité en pédiatrie changent avec le développement.

La dextérité peut être mesurée en observant la performance de la tâche et en utilisant une évaluation standardisée avec l'objet. Avec l'objet, il est mesuré la précision et la performance.

Les tests référencés sont :

<i>Dextérité test</i>	<b>Normes pédiatriques</b>	<b>Temps testé</b>	<b>Précision testée</b>	<b>Manipulation de la main</b>	<b>Temps de réalisation</b>
<i>Box and Block</i>	6-19 ans	oui	oui	Non	< à 5min
<i>Grooved Pegboard test</i>	3-20 ans	oui	oui	Oui-rotation d'une cheville	> à 5mn
<i>Jebsen Taylor hand fonction test</i>	6-19 ans	oui	oui	Oui-rotation d'une cuillère	> à 5 min
<i>Nine hole peg test</i>	3-20 ans	oui	oui	Oui, rotation et translation d'une cheville, non validé	< à 5 mn
<i>Perdue pegboard test</i>	2,6-5-11 ans, 5-15 ans , 14-19 ans	oui	oui	Non	> à 5 mn

Source : Innovative evaluation of dexterity in pediatrics, (Susan V., Duff EDD et al, 2015)

**D'autres tests existent**, en mesurant le temps d'achèvement de la tâche, la performance peut être exprimée.

« **In hand manipulation** » c'est un test développé pour un âge de 18 mois à 7 ans.

C'est un **test standardisé**, qui peut être effectué de façon fiable à partir de 3 ans. Le mouvement de décalage des doigts, la translation (des doigts à la paume et de la paume aux doigts) et la rotation simple ou complexe sont observés. Les 3 composantes sont évaluées avec la tâche de reprendre une pièce et la placer dans une fente latérale.

« **Fonctionnal dextérité test** » est utilisé pour le concept unique du taux d'achèvement et dans la manipulation de la main. **Il est validé pour les adultes et depuis peu pour les enfants.**

16 pièces cylindriques doivent être rangées sur des rangées de 4 pièces (creux cylindrique). L'enfant utilise la prise tri-digitale et cela permet de voir la rotation et le décalage.

Les participants ont deux essais, le temps de réalisation et la vitesse sont mesurées. Des normes existent pour la main dominante et non dominante. Elles ont été définies à travers le développement typique de l'enfant pour des âges de 3 à 17 ans.

La main dominante est plus rapide par rapport à la main non dominante à tous les âges et une différence entre les deux essais est constante.

Ce test peut être utilisé après une pollicisation, pour définir la performance des enfants qui ont une main pathologique congénitale.

Ce test a montré que la main non affectée d'un enfant porteur de pathologie congénitale est plus lente que la norme. D'après ce test, elle peut bénéficier de réadaptation.

Ce test est facile à réaliser, il ne demande qu'une courte attention et a peu de contraintes de réalisation. Il permet de mesurer la performance des mains des enfants avec ou sans pathologie et peut détecter des subtils déficits d'observation visuelle et de prise simple.

Indirectement, l'évaluation peut être faite à travers la performance de la tâche comme un empilement de damier dans le **Jebsen Taylor test of hand fonction**.

La manipulation dynamique est évaluée par l'habileté à réguler le vecteur force des doigts pour contrôler des objets instables. Cependant une mesure de contrôle de force dynamique peut être réalisée.

**-Strenght- dexterity test** permet de qualifier la régulation dynamique de la magnitude et la direction des forces des doigts, **il est en cours de validation pour les enfants**.

Le niveau maximum de compression est un indicatif du niveau d'instabilité maximum que le système neuromusculaire est capable de contrôler.

C'est le seul test, unique et informatif pour l'habileté de la main de l'enfant à stabiliser les objets, il mesure les différences de capacités sensorimotrices, de force lors du mouvement et informe sur le déficit lié à l'atteinte. Des études sont nécessaires pour utiliser ce test pour la performance.

La quantification des tâches sensorimotrices sont nécessaires pour stabiliser des objets utilisant des scores de dextérité, le contrôle de force dynamique et la précision.

Avec la maturation, la vitesse de contraction musculaire, la connectivité fonctionnelle neurale augmentent avec l'âge, le niveau de développement de l'enfant et les conditions d'évaluation. Ces facteurs influencent le niveau de la tâche et la dextérité peut être évaluée.

FDT et SD test peuvent être utilisés pour mesurer le taux d'achèvement, dans la manipulation de la main et dans le contrôle dynamique de la force.

BILAN POUR L'ECRITURE
-----------------------

\* Ecriture : - Aucun test n'est standardisé en français  
- en anglais :

Evaluer le développement de l'enfant suppose aussi de tenir compte de son environnement culturel et socio-éducatif.

TEST	Niveau/âge	Temps en minutes
Evaluation tool of children's handwriting	1° à la 6° année de primaire	15 à 25
Minnesota handwriting test	1° à la 2° année de primaire	< à 5
Shore handwriting screening	3 à 7 ans	15 à 20

	HEMIPLEGIE	TRAUMA CRANIEN	BRULURE	P. OBSETRICALE	PATHO CONGENITALE	IMC	DYSPRAXIE	FRACTURE	R. TENDON	GUILLEIN BARRE	TRANSPLANTATION
DOULEURS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MOB PASSIVE	x	x	x	x	x	x	x			x	x
MOB ACTIVE	x	x	x	x	x	x	x			x	x
MASSAGE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
DRAINAGE LYMPH.			x					x	x		x
CRYOTHERAPIE	x							x	x		
DECLIVE			x					x	x		x
ELECTROTHERAPIE	x			x						x	x
REC LATERALITE	?	?	6 ans ?						x		x
IMAGERIE MOTRICE	?	?	9 ans ?				?	x			x
IMAGERIE MENTALE	?	?	6 à 11 ans ?				?	x			x
THERAPIE CONTRAINTE	x	x									
ATTENTION	x	x				x	x				
FONCTION EXECUTIVE	x	x				x	x				
NEM	x	x		x	x		x			x	
RELAXATION	x	x	x	x	x	x				x	x
EDUCATION	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ARMEO	x										
WII	x	x	x		x	x	x			x	
REALITE VIRTUELLE							?			x	
JEUX	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
APPAREILLAGE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
VIBRATION								x	x	x	x
HYDROTHERAPIE	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
POSTURE	x	x	x	x	x	x				x	x
FONCTIONNELLE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x : traitements validés.

? : Questionnement.

X: Traitements expérimentaux envisageables

## La main

La merveille des merveilles ! son agencement même est fascinant. Quand on la regarde, on peut s'interroger sur l'inégalité des doigts- s'il étaient égaux, nous serions dotés d'un pinceau incapable de saisir un objet - ou la perfection du pouce opposable qui est la clé de notre dextérité. C'est la main qui nous a sauvés et permis d'évoluer au cours des millénaires.

Aujourd'hui, l'abandon du travail manuel, la relégation des mains, devenues de simples outils pour clavier et autres fonctions élémentaires, est un symptôme de l'hyper-intellectualisation.

Et c'est ainsi qu'on préfère cantonner les enfants dans le domaine de l'abstraction plutôt que dans celui de la concrétude et qu'on ne développe guère l'habileté. On les fait passer directement au virtuel sans qu'ils aient été initiés au monde réel. Et c'est, à mon sens, éminemment inquiétant pour l'avenir.

La technologie confisque graduellement à la main les fonctions que celle-ci assurerait depuis les origines. Cet état de fait engendre une sorte d'infirmité ou plutôt de maladresse que l'on observe chez certains jeunes.

Une chose est sûre : la relégation des mains par les machines ne pourra pas être sans conséquence. A minima, il serait judicieux d'instruire dans l'éducation des enfants une instruction des mains pour prévenir les effets pervers du machinisme envahissant.

Pierre Rabhi dans « La convergence des consciences »2016



## BIBLIOGRAPHIE

1. Picq P. Chapitre 47. Les dessous de l'homnisation : les origines de l'homme entre science et quête de sens. 2016.
2. Piveteau J. La main et l'homnisation. Paris, France, Pays multiples; vi+114.
3. Boutan M, Casoli V. Mains & préhensions: entre fonctions et anatomie. Montpellier, France: Sauramps médical; 2005. 106 p.
4. Ramachandran VS. Le cerveau fait de l'esprit: enquête sur les neurones miroirs. Paris, France: Dunod, DL 2011; 2011.
5. Habib M. Développement de la dominance cérébrale : revue des données disponibles et proposition d'une hypothèse originale. *Développements*. 2009;2(2):5.
6. Fagard J, éditeur. Droitiers-gauchers: des asymétries dans tous les sens. Marseille, France: Solal; 2004. 225 p.
7. Fagard J. Le développement des habiletés de l'enfant: coordination bimanuelle et latéralité. Paris, France: CNRS Éditions; 2016.
8. Meguerditchian A, Vaclair J. Contrast of hand preferences between communicative gestures and non-communicative actions in baboons: Implications for the origins of hemispheric specialization for language. *Brain Lang*. mars 2009;108(3):167-74.
9. Corballis MC. The gestural origins of language. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. 1 janv 2010;1(1):2-7.
10. Courtine G, Bunge MB, Fawcett JW, Grossman RG, Kaas JH, Lemon R, et al. Can experiments in nonhuman primates expedite the translation of treatments for spinal cord injury in humans? *Nat Med*. mai 2007;13(5):561-6.
11. Gombergh R. La vie utérine. *Avril* 2004;(28):18 à 23.
12. Baiada A. Rééducation d'un geste naissant. *avril* 2004;(N°28):28 à 32.
13. Perrin J, Geoffroy-Siraudin C, Metzler-Guillemain C. La main : embryologie et principaux mécanismes malformatifs. *Chir Main*. déc 2008;27, Supplement 1:S2-6.
14. Fagard J. Aux origines de la préférence manuelle. 2012;(1):97-114.
15. Zoia S., D'Ottavio G., Blason L., Biancotto , Bulgheroni M., Casteille U. Développement de l'action planifiée chez le foetus humain. 2012;(1):P.9 à 23.
16. Durand K, Lécuyer R. L'intelligence du bébé. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatas/traitements/37-52764](http://www.em-premium.com/docelec.univ-lyon1.fr/datas/traitements/37-52764) [Internet]. 7 août 2009 [cité 11 avr 2017]; Disponible sur: [http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/221181/resultatrecherche/223](http://www.em-premium.com/docelec.univ-lyon1.fr/article/221181/resultatrecherche/223)
17. Broca A de. Le développement de l'enfant: aspects neuro-psycho-sensoriels. Paris, France: Elsevier-Masson; 2009. x+298.
18. Gombergh R, Castro Albert. La gymnastique du cerveau. *Avril* 2004;N°28:13-32.
19. Stone KD, Gonzalez CLR. The contributions of vision and haptics to reaching and grasping. *Front Psychol* [Internet]. 2015 ;6. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.01403/full>
20. Mellier D. Le développement du nourrisson et de l'enfant. Quoi de neuf?, *Infant and child development, what's new?* *Rev Neuropsychol*. 9 mars 2017;Volume 9(1):13-8.
21. O'Sullivan, Goubet N., Berthier N. L'atteint de l'objet chez l'enfant né prématurément. 2012;(1):25-34.
22. Charvet J-P, Rouan O, Sempé M. Elle et lui se transforment ! Ou croissance et différenciation sexuelle: morphogenèse, morphotypes et dimorphisme sexuel. Cahors, France: Impr. Publi-Fusion-Regourd; 2006. 161 p.
23. Bouchard M. La maturation osseuse: comment l'apprécier au quotidien? *juillet-aout* 2006;9(N°4):213 à 219.
24. Crepy Banfin Evelyne. Age osseux: Détermination et corrélation avec la croissance staturale, étude menée au service d'odontologie de Lyon sur la relation âge civil- âge osseux. [Lyon, France]: Claude Bernard; 1998.
25. Charvet JP. L'inégalité de longueur de l'index et de l'annulaire a-t-elle un caractère sexuel ? 2006;

26. Durston S. Cerveau: interaction entre maturation et expérience | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. 2010 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/les-interactions-entre-la-maturation-du-cerveau-et-l'experience-entraiment-le>
27. paus T. Cerveau: l'imagerie du cerveau en croissance | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. 2011 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/limagerie-du-cerveau-au-cours-de-sa-croissance>
28. Moore C. Cognition sociale: à la prime enfance | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. 2010 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cognition-sociale/selon-experts/cognition-sociale-dans-la-prime-enfance>
29. Gueguen C, Ansembourg T d'. Pour une enfance heureuse: repenser l'éducation à la lumière des dernières découvertes sur le cerveau. France; 366 p.
30. Lagercrantz H, Olausson L. Le cerveau de l'enfant. Paris, France: O. Jacob; 2008. 235 p.
31. Gerig G, Gilmore JH. Cerveau: maturation du cerveau | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. 2011 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/maturation-du-cerveau-des-nouveaux-et-des-nourrissons>
32. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA, Nieoullon AT. Neurosciences: à la découverte du cerveau. Montrouge, France: Édition Pradel; 2016.
33. Giedd JN. Cerveau | Maturation du cerveau adolescent [Internet]. Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. 2011. Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/maturation-du-cerveau-adolescent>
34. Gosselin J 1979-, Amiel-Tison C. Évaluation neurologique de la naissance à 6 ans. Montréal, Canada, France: Éditions du CHU Sainte-Justine; 2007. 207 p.
35. Cyrulnik B. Biologie de l'attachement. 2013.
36. Moran G. Attachement. [Internet]. 2007 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/search/Moran>
37. Decety J. L'empathie. 2003;(309).
38. Decety J. Mécanismes neurophysiologiques impliqués dans l'empathie et la sympathie. Rev Neuropsychol. 2010;2(2):133.
39. Luby JL, Barch DM, Belden A, Gaffrey MS, Tillman R, Babb C, et al. Maternal support in early childhood predicts larger hippocampal volumes at school age. Proc Natl Acad Sci U S A. 21 févr 2012;109(8):2854-9.
40. Damasio AR. L'erreur de Descartes: la raison des émotions. Paris, France: O. Jacob, DL 2000; 2001. 396 p.
41. Bourc'his D. Epigénétique [Internet]. Inserm. 2015 . Disponible sur: <http://www.inserm.fr/thematiques/genetique-genomique-et-bioinformatique/dossiers-d-information/epigenetique>
42. Vasseur R, Delion P. Périodes sensibles dans le développement psychomoteur de l'enfant de 0 à 3 ans. Toulouse, France: Éd. érès; 2010. 204 p.
43. Montessori M. L'esprit absorbant de l'enfant. Paris, France: Desclée de Brouwer; 2010. 240; 3.
44. Alvarez C. Les lois naturelles de l'enfant. Meyer C, éditeur. Paris, France: Éd. des Arènes, DL 2016; 2016. 454 p.
45. Haibach PS, Reid G, Collier D. Motor learning and development. Champaign, États-Unis d'Amérique, Pays multiples; xviii+405.
46. Futagi Y, Toribe Y, Suzuki Y. The Grasp Reflex and Moro Reflex in Infants: Hierarchy of Primitive Reflex Responses. Int J Pediatr. 2012;2012:1-10.
47. Rönnqvist L, Hopkins B, van Emmerik R, de Groot L. Lateral biases in head turning and the Moro response in the human newborn: are they both vestibular in origin? Dev Psychobiol. déc 1998;33(4):339-49.
48. Brazelton TB. Points forts: les moments essentiels du développement de votre enfant. 1, de la naissance à 3 ans. Paris, France: Librairie générale française; 1999. 607 p.
49. Stréri A. Grandeur et misères du système perceptif manuel du nourrisson. 2012;(1):35-47.
50. Bullinger A, Delion P. Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars. Tome 1, Un parcours de recherche. Ramonville Saint-Agne, France: Éditions Érès, DL 2004; 2004. 271 p.
51. Le Métayer M, Truscelli D, Grenier A. Rééducation cérébro-motrice du jeune enfant: éducation thérapeutique. Paris, France, Italie, Espagne; 1999. x+190.
52. Durand K, Lécuyer R. Activités perceptives du nourrisson. Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraitesspps37-55461 [Internet]. 18 févr 2011 [cité 15 avr 2017]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/281381/resultatrecherche/2>

53. Association des praticiens du bilan sensori-moteur André Bullinger . Directeur de la publication. Les effets de la gravité sur le développement du bébé: l'espace de la pesanteur. Bullinger A, éditeur. Toulouse, France: Érès, DL 2015; 2015. 108 p.
54. Mazeau M, Pouhet A. Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant: du développement typique aux « dys- ». Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier-Masson, DL 2014; 2014. xiii+415.
55. Corbetta D, Snapp-Childs W. Seeing and touching: The role of sensory-motor experience on the development of infant reaching. *Infant Behav Dev.* janv 2009;32(1):44-58.
56. Anzieu D, Séchaud É. *Le moi-peau*. Paris, France: Dunod, DL 1995; 1995. ix+291.
57. Basset N. Bilans et rééducation des troubles de la sensibilité de la main. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraiteski26-60201](http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/1052193/resultatrecherche/3) [Internet]. 5 avr 2016; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/1052193/resultatrecherche/3>
58. Ecoffey C, Annequin D, éditeurs. *La douleur chez l'enfant*. Paris, France: Médecine Sciences Publications Lavoisier, impr. 2011; 2011..
59. Annequin D, Guilbert C. *La douleur chez l'enfant*. Paris, France: Masson; 2002. vii+183.
60. Pédiadol. *La douleur de l'enfant: Stratégies soignantes de prévention et de prise en charge*.
61. Mascaux F, Houet J-L, Hâgelstein M-T, Crasson M, Legros J-J. P1-106 - L'ocytocine est libérée lors du massage holistique®. Étude pilote chez l'homme jeune. *Ann Endocrinol.* 1 oct 2006;67(5):442.
62. Lejeune F, Gentaz G. Le toucher des enfants prématurés. 2013;(1):33-48.
63. Cignetti F, Chabeauti P-Y, Sveistrup H, Vaugoyeau M, Assaiante C. Updating process of internal models of action as assessed from motor and postural strategies in children. *Neuroscience.* 13 mars 2013;233:127-38.
64. Olivier I, Palluel E, Nougier V, Assaiante C. Évolution des stratégies posturales de l'enfance à l'adolescence. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraitespg027-60420](http://wwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraitespg027-60420) [Internet]. 4 déc 2013 ; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/796498/resultatrecherche/1>
65. Farroni T, Meno Enrica. Cerveau: perception visuelle | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. [cité 28 avr 2017]. Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/la-perception-visuelle-et-le-developpement-precoc-du-cerveau>
66. Corbetta<sup>1</sup> D, Guan<sup>1</sup> Y, L. Williams<sup>1</sup> J. Le rôle de la vision dans le développement de la préhension chez le bébé : une réévaluation. *Enfance.* mars 2012;2012(1):49-60.
67. Huotilainen M. Cerveau | Perception auditive et développement précoce du cerveau [Internet]. Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. 2010 . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/perception-auditive-et-developpement-precoc-du-cerveau>
68. Kálló É, Mózes E, Csátori I, Horváth A, Frank B, Pázmándy K, et al. Jeu, action, pensée. Association Pikler Lóczy de France; 2009.
69. Kahrs BA, Lockman JJ. L'utilisation d'objets comme outils: un développement continu. *Enfance Psychol Pedagog Neuropsychiatr Sociol.* 2012;64(1):61.
70. Stréri A. Grandeur et misères du système perceptif du nourrisson. 2012;(1):35-47.
71. Massion. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol.* 1994;(4):877-87.
72. Assaiante, Amblard C. Ontogénésis of head stabilization in space during locomotion in children:influence of visual cues. (93):499-515.
73. Paillard J, Brouchon M. A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cues for ballistic movements. *Brain Res.* 17 mai 1974;71(2-3):273-84.
74. Thelen E, Spencer JP. Postural Control During Reaching in Young Infants: A Dynamic Systems Approach. *Neurosci Biobehav Rev.* 4 mars 1998;22(4):507-14.
75. Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C. Development of Postural Control in Healthy Children: A Functional Approach. *Neural Plast.* 2005;12(2-3):109-18.
76. Grenier A. *La motricité libérée du nouveau-né: ses prolongements au quotidien pour le confort et la surveillance neurologique*. Genève, Suisse, France: Médecine et hygiène; 2000. x+115.
77. Corbetta D, Bojczyk KE. Infants Return to Two-Handed Reaching When They Are Learning to Walk. *J Mot Behav.* 1 mars 2002;34(1):83-95.
78. Guilbert J. *L' intégration sensorielle dans le développement de l'imagerie motrice chez les enfants* [Thèse de doctorat]. [France]: Université de Caen Normandie;
79. Montessori M. *L'enfant*. Paris, France: Desclée de Brouwer; 1977. 200 p.
80. Cochet H, Jover M, Vauclair J. Hand preference for pointing gestures and bimanual manipulation around the vocabulary spurt period. *J Exp Child Psychol.* nov 2011;110(3):393-407.

81. Esseily R, Jacquet A-Y, Fagard J. Handedness for grasping objects and pointing and the development of language in 14-month-old infants. *Laterality Asymmetries Body Brain Cogn.* 1 sept 2011;16(5):565-85.
82. Fagard J, Spelke E, von Hofsten C. Reaching and grasping a moving object in 6-, 8-, and 10-month-old infants: Laterality and performance. *Infant Behav Dev.* avr 2009;32(2):137-46.
83. Vauclair J, Cochet H. Une communication gestuelle: une voie royale pour le développement du langage. 2016;(4).
84. Potier C, Meguerditchian A, Fagard J. Handedness for bimanual coordinated actions in infants as a function of grip morphology. *Laterality Asymmetries Body Brain Cogn.* 1 sept 2013;18(5):576-93.
85. Kurtz LA, Robin J. Le développement des habiletés motrices: comprendre et aider les enfants ayant des difficultés de coordination. Montréal, Canada: Chenelière-éducation, DL 2010; 2010. ix+180.
86. Fagard J, Lemoine C. The role of imitation in the stabilization of handedness during infancy. *J Integr Neurosci.* 1 déc 2006;5(4):519-33.
87. Mason AH, Bruyn JL, Lazarus J-AC. Bimanual coordination in children: manipulation of object distance. *Exp Brain Res.* nov 2013;231(2):153-64.
88. Rat-Fischer L, O'Regan JK, Fagard J. The emergence of tool use during the second year of life. *J Exp Child Psychol.* nov 2012;113(3):440-6.
89. Fagard J. Introduction : Développement manuel précoce et enjeux théoriques. *Enfance.* mars 2012;2012(1):5-8.
90. Fagard J, Rat-Fischer L, O'Regan K. Comment le bébé accède-t-il à la notion d'outils? 2012;(1).
91. Maravita A, Spence C, Driver J. Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach. *Curr Biol CB.* 1 juill 2003;13(13):R531-539.
92. Lopeç C, Blanke O, Mast FW. The human vestibular cortex revealed by coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis. *Neuroscience.* 14 juin 2012;212:159-79.
93. Proske U, Gandevia SC. The kinaesthetic senses. *J Physiol.* 1 sept 2009;587(Pt 17):4139-46.
94. Kapandji AI, Doursounian L. Qu'est-ce que la biomécanique ? Montpellier, France: Sauramps médical, DL 2011; 2011. 592 p.
95. Rochat P. Le monde des bébés. Paris, France: O. Jacob, impr. 2006; 2006. 313 p.
96. Reynolds G, Richards J. Cerveau | L'attention et le développement précoce du cerveau [Internet]. Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/lattention-et-le-developpement-precoce-du-cerveau>
97. Bryson SE. Cerveau: l'attention visuo-spaciale | Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants [Internet]. . Disponible sur: <http://www.enfant-encyclopedie.com/cerveau/selon-experts/le-developpement-precoce-de-lattention-visuo-spatiale>
98. Libbey J. Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Rev Neuropsychol.* 9 mars 2017;me 9(1):27-34.
99. Bléandonu G, Revol O. Développement psychologique de l'enfant. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraitements04-46319](http://www.em-premium.com/docelec.univ-Lyon1/fr/datas/traitements/04-46319) [Internet]. 17 janv 2008 [cité 11 avr 2017]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/69102/resultatrecherche/198>
100. Godefroy O, Jeannerod M, Allain P, Le Gall D. Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitif. *Rev Neurol (Paris).* 2008;164:S119-S127.
101. Roy A. Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective, A neuropsychological approach to executive functions in children: current state of knowledge and foresight. *Rev Neuropsychol.* 14 janv 2016;Volume 7(4):245-56.
102. Pennequin V, Sorel O, Fontaine R. Motor planning between 4 and 7 years of age: Changes linked to executive functions. *Brain Cogn.* nov 2010;74(2):107-11.
103. Roy A, Gall DL, Roulin J-L, Fournet N. Les fonctions exécutives chez l'enfant : approche épistémologique et sémiologie clinique, Executive function in children: epistemological approach and clinical semiology. *Rev Neuropsychol.* 20 févr 2013;Volume 4(4):287-97.
104. Palluel E, Nougier V, Olivier I. Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain Res.* 28 oct 2010;1358:151-9.
105. Krakauer JW, Shadmehr R. Consolidation of motor memory. *Trends Neurosci.* janv 2006;29(1):58-64.
106. Rivière J. La mémoire du corps chez le jeune enfant : l'impact des routines motrices sur le comportement de recherche manuelle d'objets cachés. *Développements.* 1 avr 2013;(7):29-36.

107. Nadel J, Potier C. Imiter et être imité dans. In: *Imiter pour découvrir l'humain*. Paris: Presses universitaires de France; 2002. p. 83-104.
108. Dufier J-L. Les anomalies de la vision chez l'enfant et l'adolescent. Kovarski C, éditeur. Paris, France: Lavoisier : Médecine Sciences Publications; 2014.
109. Rizzolatti G, Sinigaglia C. Les neurones miroirs. Paris, France: O. Jacob; 2007. 236; 12.
110. Decety J. [Naturalizing empathy]. *L'Encephale*. févr 2002;28(1):9-20.
111. Centelles L, Assaiante C, Nazarian B, Anton J-L, Schmitz C. Recruitment of both the mirror and the mentalizing networks when observing social interactions depicted by point-lights: a neuroimaging study. *PloS One*. 10 janv 2011;6(1):e15749.
112. Chéron G. Neurophysiologie du mouvement. Apprentissage moteur. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraiteski26-56630](http://www.em-premium.com/docelec.univ-Lyon1/fr/datas/traiteski26-56630) [Internet]. 5 déc 2011
113. Esseily R, Fagard J. Un bébé peut- il apprendre d'un autre bébé? Apprentissage par observation d'une nouvelle habileté manuelle à 10 mois. 2012;(1):85-95.
114. Berthoz A. Le sens du mouvement. Paris, France: Odile Jacob, DL 2013; 2013. 345; 4.
115. Jeannerod M. The origin of voluntary action. History of a physiological concept. *C R Biol*. mai 2006;329(5-6):354-62.
116. Bertinchamp U. Concept PNF : facilitation proprioceptive neuromusculaire (concept Kabat-Knott-Voss). [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatatraiteski26-51680](http://www.em-premium.com/docelec.univ-Lyon1/fr/datas/traiteski26-51680) [Internet]. 28 déc 2009 [cité 2 mai 2017]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/237732/resultatrecherche/9>
117. Caeyenberghs K, Tsoupas J, Wilson PH, Smits-Engelsman BCM. Motor imagery development in primary school children. *Dev Neuropsychol*. 2009;34(1):103-21.
118. Aravena P, Delevoeye-Turrell Y, Deprez V, Cheylus A, Paulignan Y, Frak V, et al. Grip force reveals the context sensitivity of language-induced motor activity during « action words » processing: evidence from sentential negation. *PloS One*. 2012;7(12):e50287.
119. Frak V, Nazir T, Goyette M, Cohen H, Jeannerod M. Grip force is part of the semantic representation of manual action verbs. *PloS One*. 16 mars 2010;5(3):e9728.
120. Frak V, Nazir T, éditeurs. *Le langage au bout des doigts: les liens fonctionnels entre la motricité et le langage*. Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec, DL 2014; 2014. xiv+218.
121. Assaiante C. Action and representation of action during childhood and adolescence: a functional approach. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol*. févr 2012;42(1-2):43-51.
122. Assaiante C, Barlaam F, Cignetti F, Vaugoyeau M. Body schema building during childhood and adolescence: a neurosensory approach. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol*. janv 2014;44(1):3-12.
123. Agouridas D, Bouguennec C, Weber A, Mettoudi C. De la trace à l'écriture: une approche culturelle et sensorielle du graphisme, observer, tracer, découvrir l'écriture. Champigny, France: SCEREN-CRDP de l'Académie de Créteil, impr. 2006; 2006. 40; 20.
124. Montessori M, Marcel J-M, Montessori MM. *Pédagogie scientifique: la découverte de l'enfant*. Paris, France: Desclée de Brouwer; 1958. 263 p.
125. Claxton LJ, McCarty ME, Keen R. Self-directed action affects planning in tool-use tasks with toddlers. *Infant Behav Dev*. avr 2009;32(2):230-3.
126. Gendrier M. *Gestes et mouvements justes*. Les Ulis, France: EDP Sciences; 2004. 249 p.
127. Massion J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol*. déc 1994;4(6):877-87.
128. Ribordy Lambert F, Lavenex P, Banta Lavenex P. The « when » and the « where » of single-trial allocentric spatial memory performance in young children: Insights into the development of episodic memory. *Dev Psychobiol*. mars 2017;59(2):185-96.
129. Roncesvalles MN, Schmitz C, Zedka M, Assaiante C, Woollacott M. From egocentric to exocentric spatial orientation: development of posture control in bimanual and trunk inclination tasks. *J Mot Behav*. sept 2005;37(5):404-16.
130. Goubier-Ligney V, Hadji C. *Eduquer la main à l'école maternelle ? : pour une pédagogie de l'intelligence manuelle*. Lyon, France; 1999.
131. Arfouilloux J-C. *L'entretien avec l'enfant: l'approche de l'enfant à travers le dialogue, le jeu et le dessin*. Toulouse, France: Privat; 1978. 208 p.
132. Susan V., Duff Edd, Dorit H, Aaron Ma, Gloria, Gogola MD, Francisco, Valero Cuevas Ph. Innovative evaluation of dexterity in pediatrics. *Journal of hand therapy*. 2015;144-50.
133. Pes J-P. *Nouvelle approche de l'apprentissage par la psychomotricité*. Paris, France: Vernazobres-Gregio; 2011. 149 p.

134. Conti E. Les brûlures de la main chez l'enfant. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatarevues12973203v32s1S1297320313000954](http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/data/revues/12973203v32s1S1297320313000954) [Internet]. 14 sept 2013 ; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/835081/resultatrecherche/6>

135. Boutan M, Thomas D, Célérier S, Casoli V, Moutet F, Baiada A, et al., éditeurs. Rééducation de la main et du poignet: anatomie fonctionnelle et techniques. Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier Masson, DL 2013; 2013.

136. Thyron C, Roll J-P. Imagerie motrice chez l'homme: contribution des informations proprioceptives et de l'intention motrice à la perception kinesthésique. Marseille, France; 2011. 147 p.

## **Iconographie**

1. Evolution de la pince pouce- index au cours de la phylogenèse, article courtine n° 10.

2. Echographie en 3 dimensions.

3. Illustration d'Olivier Rouan, la main grandit en harmonie avec le corps.

4. Garçons et filles, l'imprégnation hormonale influencerait la longueur de l'annulaire et l'index.

5. Géométrie sacrée.

Lien : [https://www.google.fr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Faportesecrete%2F\\_%2Fsrc%2F1343491821245%2Fgeometrie-sacree%2Fla-spirale-d-or%2Fspirale.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Faportesecrete%2Fgeometrie-sacree%2Fla-spirale-d-or&docid=zU6e-VTnioKM0M&tbnid=Oipwmb2KAHz2RM%3A&vet=10ahUKEwjwqf3mv8\\_TAhWGIIAKHSGeB5cQMwgyKA0wDQ..i&w=362&h=233&client=safari&bih=751&biw=556&q=géométrie%20sacree%20suite%20de%20fibonacci&ved=0ahUKEwjwqf3mv8\\_TAhWGIIAKHSGeB5cQMwgyKA0wDQ&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Faportesecrete%2F_%2Fsrc%2F1343491821245%2Fgeometrie-sacree%2Fla-spirale-d-or%2Fspirale.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Faportesecrete%2Fgeometrie-sacree%2Fla-spirale-d-or&docid=zU6e-VTnioKM0M&tbnid=Oipwmb2KAHz2RM%3A&vet=10ahUKEwjwqf3mv8_TAhWGIIAKHSGeB5cQMwgyKA0wDQ..i&w=362&h=233&client=safari&bih=751&biw=556&q=géométrie%20sacree%20suite%20de%20fibonacci&ved=0ahUKEwjwqf3mv8_TAhWGIIAKHSGeB5cQMwgyKA0wDQ&iact=mrc&uact=8)

6. Illustration issu du livre anatomie pour enfants, et zone fonctionnelle du cerveau.

Source : powerpoint Attention, la mémoire et l'imagerie mentale, Insep, Aurélie Ledon.

7. La voie motrice pyramidale.

Lien : [http://www.anatomie-humaine.com/IMG/gif/S.65\\_Origine\\_Faisceau\\_Pyramidal.gif](http://www.anatomie-humaine.com/IMG/gif/S.65_Origine_Faisceau_Pyramidal.gif)

[https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FIMG%2Fgif%2FS.65\\_Origine\\_Faisceau\\_Pyramidal.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&docid=gGz36Y1DFMjvDM&tbnid=l3chLs9a2maiZM%3A&vet=10ahUKEwjpppyevs\\_TAhUGWxoKHfd2DbgQMwgnKAAwAA..i&w=585&h=770&client=safari&bih=751&biw=556&q=origine%20et%20trajetdu%20faisceau%20pyra&ved=0ahUKEwjpppyevs\\_TAhUGWxoKHfd2DbgQMwgnKAAwAA&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FIMG%2Fgif%2FS.65_Origine_Faisceau_Pyramidal.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&docid=gGz36Y1DFMjvDM&tbnid=l3chLs9a2maiZM%3A&vet=10ahUKEwjpppyevs_TAhUGWxoKHfd2DbgQMwgnKAAwAA..i&w=585&h=770&client=safari&bih=751&biw=556&q=origine%20et%20trajetdu%20faisceau%20pyra&ved=0ahUKEwjpppyevs_TAhUGWxoKHfd2DbgQMwgnKAAwAA&iact=mrc&uact=8)

8. Illustration du réflexe tonique asymétrique du cou, source : site neurologique.

[https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.institut-devenir.fr%2Fimages%2Freflexe-tonique-asymetrique-cou.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.institut-devenir.fr%2Fdifficultes-apprentissage%2Fdifficultes-apprentissage.html&docid=8NLHK-LCNefh3M&tbnid=z3dlhRfXNL2YmM%3A&vet=10ahUKEwj68Mrnvs\\_TAhVFExoKHVmbCciQMwgiKAEwAQ..i&w=190&h=250&client=safari&bih=751&biw=556&q=reflexe%20tonique%20du%20cou&ved=0ahUKEwj68Mrnvs\\_TAhVFExoKHVmbCciQMwgiKAEwAQ&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.institut-devenir.fr%2Fimages%2Freflexe-tonique-asymetrique-cou.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.institut-devenir.fr%2Fdifficultes-apprentissage%2Fdifficultes-apprentissage.html&docid=8NLHK-LCNefh3M&tbnid=z3dlhRfXNL2YmM%3A&vet=10ahUKEwj68Mrnvs_TAhVFExoKHVmbCciQMwgiKAEwAQ..i&w=190&h=250&client=safari&bih=751&biw=556&q=reflexe%20tonique%20du%20cou&ved=0ahUKEwj68Mrnvs_TAhVFExoKHVmbCciQMwgiKAEwAQ&iact=mrc&uact=8)

9. Schéma représentatif des rétrocontrôles sensoriels.

10. Organisations générales des voies sensitives.

Lien : [https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FIMG%2Fgif%2FS.59\\_Voies\\_sensitives\\_Generalites.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-moelle-epiniere-2-Anatomie.html&docid=-h-Ay2A0fullCM&tbnid=nYTgvJHANmjbkm%3A&vet=10ahUKEwjkbCdlc\\_TAhUOK1AKHWIiAGIQMwglKAAwAA..i&w=570&h=890&client=safari&bih=728&biw=556&q=organisation%20des%20voies%20sensitives&ved=0ahUKEwjkbCdlc\\_TAhUOK1AKHWIiAGIQMwglKAAwAA&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FIMG%2Fgif%2FS.59_Voies_sensitives_Generalites.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-moelle-epiniere-2-Anatomie.html&docid=-h-Ay2A0fullCM&tbnid=nYTgvJHANmjbkm%3A&vet=10ahUKEwjkbCdlc_TAhUOK1AKHWIiAGIQMwglKAAwAA..i&w=570&h=890&client=safari&bih=728&biw=556&q=organisation%20des%20voies%20sensitives&ved=0ahUKEwjkbCdlc_TAhUOK1AKHWIiAGIQMwglKAAwAA&iact=mrc&uact=8)

Les sens :

[https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO8PXWIM\\_TAhWlBlAKHRdzBqwQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Ffr.dreamstime.com%2Fphoto-libre-de-droits-5-sens-image11083895&psig=AFQjCNH9VF5FZnPVzmBwsInM2ZBNodWqzQ&ust=1493744132675893](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO8PXWIM_TAhWlBlAKHRdzBqwQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Ffr.dreamstime.com%2Fphoto-libre-de-droits-5-sens-image11083895&psig=AFQjCNH9VF5FZnPVzmBwsInM2ZBNodWqzQ&ust=1493744132675893)

11. Carte dynamique du développement cortical.

12. Coupe de la peau.

<https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEw>

[iNn52BlS TAHXEEVAKHWVpD3MQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Finfovisual.info%2Ffr%2Fcorps-humain%2Fpeau&psig=AFQjCNG c4otBV-MvGdbvWR58qNxxgYRmJw&ust=1493744488933798](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjzovW6sZXTAhWF6xQKHfOsDAQQjhwIBQ&url=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Flesrecepteurssensoriels%2Fa-les-recepteurs-du-corps-humain%2F1--differentes-recepteurs&psig=AFQjCNFMQc3vQIaoxcQHWiTAX4eXcwoYug&ust=1491758939046770&cad=rjt)

### 13. Illustration des récepteurs cutanés.

Lien : <https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjzovW6sZXTAhWF6xQKHfOsDAQQjhwIBQ&url=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Flesrecepteurssensoriels%2Fa-les-recepteurs-du-corps-humain%2F1--differentes-recepteurs&psig=AFQjCNFMQc3vQIaoxcQHWiTAX4eXcwoYug&ust=1491758939046770&cad=rjt>  
Mécanorécepteurs : [https://sites.google.com/site/lesrecepteurssensoriels/\\_/rsrc/1360763148907/a-les-recepteurs-du-corps-humain/1--differentes-recepteurs/corpuscules.png](https://sites.google.com/site/lesrecepteurssensoriels/_/rsrc/1360763148907/a-les-recepteurs-du-corps-humain/1--differentes-recepteurs/corpuscules.png)

14, 15. Illustration issus du livre Neurosciences, Bear, Edition Pradel, 2016 , Page 431, 432

### 16. Echelle de la douleur

[https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.enzym.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F03%2Fimageechelle-Visuelle.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.enzym.fr%2Fd-comme-douleur-linfirmier-liberal-face-a-la-douleur%2F&docid=4FfRsjcrRwxAwM&tbnid=k01KhmbcWern\\_M%3A&vet=10ahUKEwiW6sz838\\_TAhUHUBQKHSzqApkQMwg\\_KBEwEQ..i&w=600&h=453&client=safari&bih=751&biw=556&q=Echelle%20de%20la%20douleur&ved=0ahUKEwiW6sz838\\_TAhUHUBQKHSzqApkQMwg\\_KBEwEQ&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.enzym.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F03%2Fimageechelle-Visuelle.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.enzym.fr%2Fd-comme-douleur-linfirmier-liberal-face-a-la-douleur%2F&docid=4FfRsjcrRwxAwM&tbnid=k01KhmbcWern_M%3A&vet=10ahUKEwiW6sz838_TAhUHUBQKHSzqApkQMwg_KBEwEQ..i&w=600&h=453&client=safari&bih=751&biw=556&q=Echelle%20de%20la%20douleur&ved=0ahUKEwiW6sz838_TAhUHUBQKHSzqApkQMwg_KBEwEQ&iact=mrc&uact=8)

### 17. Les sens

[https://www.google.fr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fthumbs.dreamstime.com%2Ft%2Fles-cinq-sens-38624147.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Ffr.dreamstime.com%2Fphoto-libre-de-droits-5-sens-image11083895&docid=RvpGy-eIve1bVM&tbnid=iqh8W3cDkbgRSM%3A&vet=10ahUKEwi63pzT4c\\_TAhVHUHQKHU5DAQMQMwgsKAcwBw..i&w=221&h=160&bih=751&biw=556&q=5%20sens%20en%20image&ved=0ahUKEwi63pzT4c\\_TAhVHUHQKHU5DAQMQMwgsKAcwBw&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fthumbs.dreamstime.com%2Ft%2Fles-cinq-sens-38624147.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Ffr.dreamstime.com%2Fphoto-libre-de-droits-5-sens-image11083895&docid=RvpGy-eIve1bVM&tbnid=iqh8W3cDkbgRSM%3A&vet=10ahUKEwi63pzT4c_TAhVHUHQKHU5DAQMQMwgsKAcwBw..i&w=221&h=160&bih=751&biw=556&q=5%20sens%20en%20image&ved=0ahUKEwi63pzT4c_TAhVHUHQKHU5DAQMQMwgsKAcwBw&iact=mrc&uact=8)

### 18. Photo d'éléphants.

Lien: [https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWju6YKh3Z7TAhUFshQKHUrBAxoQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fbuzzly.fr%2Fvideo-un-bebe-elephant-sauve-d-un-puits-par-des-benevoles.html&bvm=bv.152180690,d.d24&psig=AFQjCNECc\\_fm7i-p-pYrNDbA5puGYVB4uA&ust=1492079949128873](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWju6YKh3Z7TAhUFshQKHUrBAxoQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fbuzzly.fr%2Fvideo-un-bebe-elephant-sauve-d-un-puits-par-des-benevoles.html&bvm=bv.152180690,d.d24&psig=AFQjCNECc_fm7i-p-pYrNDbA5puGYVB4uA&ust=1492079949128873)

17. Illustration de l'évolution du contrôle postural tiré du livre posturologie clinique : dysfonctions et algie posturale.

### 18. Prothèse bionique.

Lien : [https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.hacavie.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F06%2F4-Touch-Bionics-I-Limb-Ultra-iPhone-MaxiApple-com.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.hacavie.com%2Finnovation%2Farticles%2Ftouch-bionics-nouvelle-generation-de-main-bionique%2F&docid=q721KSpEAWw0vM&tbnid=tovwKuYMqJYJOM%3A&vet=10ahUKEwjxy56u5c\\_TAhXDVxOKHWNdBV04yAEQMwggKC4wLg..i&w=560&h=374&client=safari&bih=751&biw=556&q=prothese%20bionique&ved=0ahUKEwjxy56u5c\\_TAhXDVxOKHWNdBV04yAEQMwggKC4wLg&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.hacavie.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F06%2F4-Touch-Bionics-I-Limb-Ultra-iPhone-MaxiApple-com.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.hacavie.com%2Finnovation%2Farticles%2Ftouch-bionics-nouvelle-generation-de-main-bionique%2F&docid=q721KSpEAWw0vM&tbnid=tovwKuYMqJYJOM%3A&vet=10ahUKEwjxy56u5c_TAhXDVxOKHWNdBV04yAEQMwggKC4wLg..i&w=560&h=374&client=safari&bih=751&biw=556&q=prothese%20bionique&ved=0ahUKEwjxy56u5c_TAhXDVxOKHWNdBV04yAEQMwggKC4wLg&iact=mrc&uact=8)

### 19. Prothèse de la main réalisée en imprimante 3D.

[https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fscd.france24.com%2Ffr%2Ffiles\\_fr%2Fimagecache%2Ffrance24\\_ct\\_api\\_bigger\\_169%2Farticle%2Fimage%2Fmain-imprimante-3d.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.france24.com%2Ffr%2F20150817-maxence-6-ans-premier-enfant-francais-main-impression-3d-enable&docid=sy4ILBXH5JxLWM&tbnid=3yqibZVlqI9BrM%3A&vet=10ahUKEwjpuMXs5c\\_TAhVCbhQKHWOoNAL8QMwhEKBgwGA..i&w=720&h=405&client=safari&bih=751&biw=556&q=prothese%20costomise%20main&ved=0ahUKEwjpuMXs5c\\_TAhVCbhQKHWOoNAL8QMwhEKBgwGA&iact=mrc&uact=8](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fscd.france24.com%2Ffr%2Ffiles_fr%2Fimagecache%2Ffrance24_ct_api_bigger_169%2Farticle%2Fimage%2Fmain-imprimante-3d.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.france24.com%2Ffr%2F20150817-maxence-6-ans-premier-enfant-francais-main-impression-3d-enable&docid=sy4ILBXH5JxLWM&tbnid=3yqibZVlqI9BrM%3A&vet=10ahUKEwjpuMXs5c_TAhVCbhQKHWOoNAL8QMwhEKBgwGA..i&w=720&h=405&client=safari&bih=751&biw=556&q=prothese%20costomise%20main&ved=0ahUKEwjpuMXs5c_TAhVCbhQKHWOoNAL8QMwhEKBgwGA&iact=mrc&uact=8)

### 20. La fleur de vie.

Lien : [https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F1.bp.blogspot.com%2F-NVDZBnh3xxg%2FVAnV8SfEiMI%2FAAAAAAAAAACM4%2FbXLIh91A6U%2Fs1600%2FFleurDeVie%252B-%252BCopie.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fmyriamwithers.blogspot.com%2F&docid=onkE14wd8m\\_Z3M&tbnid=czo2XoObLQvq9M%3A&vet=1&w=1600&h=1600&client=safari&bih=774&biw=560&ved=0ahUKEwiUw8e94p\\_TAhUF7hoKHWppC70QxiAIFygD&iact=c&ictx=1](https://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F1.bp.blogspot.com%2F-NVDZBnh3xxg%2FVAnV8SfEiMI%2FAAAAAAAAAACM4%2FbXLIh91A6U%2Fs1600%2FFleurDeVie%252B-%252BCopie.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fmyriamwithers.blogspot.com%2F&docid=onkE14wd8m_Z3M&tbnid=czo2XoObLQvq9M%3A&vet=1&w=1600&h=1600&client=safari&bih=774&biw=560&ved=0ahUKEwiUw8e94p_TAhUF7hoKHWppC70QxiAIFygD&iact=c&ictx=1)

### 21. Annexe évolution de l'homme :

Lien :Phylogénèse :[https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiNgND436PTAhXCzRoKHTIHAEUQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.vulgarisation-scientifique.com%2Fwiki%2FPages%2Fid%25C3%25A9e\\_re%25C3%25A7ue\\_-\\_L\\_homme\\_descend\\_du\\_singe&psig=AFQjCNFJdBiRGDRNKedN3rbZN4C3U4iPjw&ust=1492252398979551&cad=rjt](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiNgND436PTAhXCzRoKHTIHAEUQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.vulgarisation-scientifique.com%2Fwiki%2FPages%2Fid%25C3%25A9e_re%25C3%25A7ue_-_L_homme_descend_du_singe&psig=AFQjCNFJdBiRGDRNKedN3rbZN4C3U4iPjw&ust=1492252398979551&cad=rjt)

## 22. Main gargas

[https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjI1\\_Dm26PTAhXIOxOKHdHjAT8QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.merveilles-et-lieux-sacres-du-monde-antique.net%2Fpages%2Fpaleolithique%2Fgrotte-de-gargas-29000-b-c.html&psig=AFQjCNG24g\\_Byn0XT0-mjUbIyLiWJooirQ&ust=1492251375604107&cad=rjt](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjI1_Dm26PTAhXIOxOKHdHjAT8QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.merveilles-et-lieux-sacres-du-monde-antique.net%2Fpages%2Fpaleolithique%2Fgrotte-de-gargas-29000-b-c.html&psig=AFQjCNG24g_Byn0XT0-mjUbIyLiWJooirQ&ust=1492251375604107&cad=rjt)

23. <https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiG8tjQ3KPTAhUichOKHfZbD7oQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fflalaviajera.com%2Fque-ver-saint-bertrand-comminges-francia%2F&psig=AFQjCNFAbETvndLn7JKRSIz1ABUsYnOojg&ust=1492251500714438>

24. [https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwi\\_2dCH3aPTAhXCExoKHbHqB2IQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Fwww.lieux-insolites.fr%2Fannexe%2Frupestre.htm&bvm=bv.152479541,d.d2s&psig=AFQjCNFTSKuIyWFhFAwe51yIbCDySf5Zhg&ust=1492251729716763](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwi_2dCH3aPTAhXCExoKHbHqB2IQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Fwww.lieux-insolites.fr%2Fannexe%2Frupestre.htm&bvm=bv.152479541,d.d2s&psig=AFQjCNFTSKuIyWFhFAwe51yIbCDySf5Zhg&ust=1492251729716763)

## 25 .Annexe organigramme simplifié :

[https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwjwoq\\_4t8\\_TAhWIIVAKHVLWB5QQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&psig=AFQjCNE3R0oP1lyYwH6EpWFMOUstsmjFtg&ust=1493753598780706](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwjwoq_4t8_TAhWIIVAKHVLWB5QQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&psig=AFQjCNE3R0oP1lyYwH6EpWFMOUstsmjFtg&ust=1493753598780706)

26 -2° schéma Source du schéma : Le cervelet : Des trouble moteur à l'autisme, Roux Sébastien, Revue de neuropsychologie, page 182-191.

27.3<sup>E</sup> : Atlas d'anatomie Prométhée. Edition Noto. Edition de Boech, 2017.

## Schéma corporel

<https://carnets2psycho.net/dico/sens-de-schema-corporel.html>

[www.chups.jussieu.fr/polysPSM/psychomot/semioRENAULT/POLY.Chp.1.html](http://www.chups.jussieu.fr/polysPSM/psychomot/semioRENAULT/POLY.Chp.1.html)

## Voie motrice

<http://profsvt71.e-monsite.com/medias/images/ch16-4.jpg>

## Voie pyramidale

[https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwioxImrtqLTAhXF\\_nRoKHQhBDYQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&psig=AFQjCNGaQwC\\_Y1OBFvdwoC6JE9UQ3x\\_JMQ&ust=1492206951116695&cad=rjt](https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwioxImrtqLTAhXF_nRoKHQhBDYQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.anatomie-humaine.com%2FLa-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html&psig=AFQjCNGaQwC_Y1OBFvdwoC6JE9UQ3x_JMQ&ust=1492206951116695&cad=rjt)

## Maturation corticale

<https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjcmS7jsqTTAhVHwBQKHdEiCy0QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fclbb.mgh.harvard.edu%2Fjuvenilejustice%2F&bvm=bv.152479541,d.d24&psig=AFQjCNGuUPQysfr8iDt5aUzFF7xuHrwUg&ust=1492274739108475>

## Embryologie

<https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEWjihOOyvafTAhUEtRQKHW4ZAYcQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.db-gersite.com%2FEMBRYO%2Fembdes%2Fembdes2.htm&bvm=bv.152479541,d.d24&psig=AFQjCNGLYAS2pvse9wUcpXwYAORAS0d0SA&ust=1492380664129618>

<http://www.cairn.info/doi/10.1017/S112075901100002>

<http://www.cairn.info/doi/10.1017/S112075901100002>