

La tenue de l'outil scripteur



Femme écrivant une lettre et sa servante – Johannes Vermeer (1670-1671)

Travail réalisé en vue de l'obtention du Diplôme Inter Universitaire d'Appareillage et de
Rééducation en Chirurgie de la Main

Stéphany BONNET

Promotion 2015/2017

Sous la direction du Professeur François MOUTET

A ma grand-mère maternelle.

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Moutet pour l'organisation du DIU de rééducation et d'appareillage en Chirurgie de la main et sa passion qu'il a su nous insuffler.

Merci à tous les enseignants pour leur implication et leur sens du partage.

Merci aux responsables de stages ainsi qu'à l'ensemble de leurs équipes, pour leur accueil, leur disponibilité et l'apport de leurs expériences.

Merci aux patients rencontrés tout au long de ce travail.

Merci à l'ensemble de l'équipe pluridisciplinaire de l'Institut de la Main et du Membre Supérieur de Montpellier.

Merci à Isabelle Gendry pour son aide précieuse.

Merci à mon confrère et ami, Romain Jarricot, pour s'être engagé avec moi dans cette belle aventure et son soutien inconditionnel.

Merci à mes proches pour leurs encouragements, et tout particulièrement à mon confrère et ami, Mathieu Orsoni.

Merci à mes enfants, Victoria et Andrea, pour leur immense patience et leur compréhension.

Un grand merci à Jean-Claude Rouzaud pour m'avoir initiée à la Rééducation de la Main . Il m'a fait bénéficier de sa grande expertise dans ce domaine. Sa générosité de cœur et sa bienveillance m'ont permis de me dépasser.

Introduction	9
Partie I : Histoire de l'écriture	10
Chapitre I : Phylogénie	10
I. Invention de l'outil	11
II. Invention du tracé	12
III. La symbolisation	13
IV. Création d'une syntaxe visuelle	15
V. L'outil traceur	15
Chapitre II : La genèse des écritures	16
I. Apparition des signes d'écriture	16
II. Evolution de l'outil scripteur	18
Partie II : La main	19
Chapitre I : Organisation générale	19
I. Anatomie fonctionnelle de la peau	19
1. Le revêtement cutané	19
1.1. La peau palmaire	19
1.1.1. La peau palmaire dans les zones de prise	21
1.1.2. Les dermatoglyphes	21
1.1.3. Les glandes sudoripares eccrines	22
1.2. La peau dorsale	22
1.3. Le cloisonnement dorso-palmaire	23
1.4. Les phanères	23
2. La sensibilité cutanée	23
2.1. Au niveau de l'épiderme	24
2.2. Au niveau du derme	24

II. La structure osseuse	25
1. Les rayons de la main	25
2. Les éléments fixes et les éléments mobiles	26
III. Les arches de la main.....	26
1. Les arches transversales	26
1.1. L'arche carpienne	26
Elle est située à la base de la paume, au niveau de la concavité du massif carpien.	26
1.2. L'arche métacarpienne	26
2. Les arches longitudinales	26
IV. La structure fibreuse	28
V. Le système musculaire	29
1. Un système long, extrinsèque :.....	29
1.1. Muscles longs fléchisseurs	29
1.2. Muscles longs extenseurs	29
2. Un système court, intrinsèque :.....	30
Chapitre II : Le pouce.....	31
I. Anatomie de l'articulation trapézo-métacarpienne	31
II. Les muscles du pouce et leurs fonctions	32
III. L'opposition	34
Partie III : Prise / préhension	35
Chapitre I : La prise.....	36
I. Etude mécanique de la prise	36
II. Classification des types de prises.....	37
1. Classification en fonction du nombre de forces appliquées sur l'objet /26/.....	37
1.1. La prise unilatérale ou prise de soutien	37
1.2. Les prises bilatérales	37

1.2.1.	La pince termino-terminale	37
1.2.2.	La pince pulpo-pulpaire ou sub-terminale	38
1.2.3.	La pince pulpo-latérale ou « key pinch »	38
1.2.4.	La pince interdigitale	38
1.3.	Les prises multilatérales.....	38
1.3.1.	La prise pollicidigitale	38
1.3.2.	La prise tridigitale	38
1.3.3.	La prise digito-palmaire	39
1.3.4.	Pince digitothénarienne	39
1.3.5.	Prise en étau	39
1.3.6.	Prise sphérique	39
1.3.7.	Prise cylindrique	40
2.	Classification en fonction de l'usage selon Napier	40
2.1.	Prise de force ou « power grip »	40
2.2.	Prise de finesse ou « precision grip »	41
3.	L'articulation du poignet.....	41
Chapitre II : Phases de la préhension.....		42
I.	Attitude préhensile.....	43
1.	Le creusement de la paume.....	43
2.	L'ouverture de la pince et l'écartement des doigts	44
3.	Espace de préhension	44
II.	Les étapes de la préhension	44
1.	Le temps d'approche	44
1.1.	Localisation visuelle de l'objet	45
1.2.	L'approche	45
2.	Le temps de solidarisation : la prise.....	47

2.1.	Un stade d'ouverture et de présentation de la main.	47
2.2.	Un stade de fermeture des doigts pour la saisie de l'objet.....	47
2.3.	Un dernier stade de régulation de la force de la prise,	47
3.	Le temps d'exploitation	48
4.	Le temps de lâchage de la prise : le dégagement	48
Partie IV : Le geste (cognition motrice)		48
Chapitre I : Composante cognitive		49
I.	Projet de geste ou intention préalable	49
1.	L'intention motrice	49
1.1.	Planification du geste.....	49
1.2.	Programmation du geste	50
Chapitre II : Composante neuromotrice		51
I.	Exécution de l'action	51
1.	Simulation anticipatrice	51
2.	Réalisation effective de l'action.....	51
Partie V : L'écriture manuscrite		53
Chapitre I : Ecriture acte moteur, aspects de son organisation		53
I.	Système effecteur et acte moteur	53
1.	Organisation de l'acte moteur	54
1.2.	Dominance hémisphérique et latéralisation du geste	54
12.1.	Dominance hémisphérique.....	54
1.2.2	Latéralisation du geste.....	55
Chapitre II : Acquisition de l'écriture manuscrite chez l'enfant		56
I.	De l'enfant pré-scripteur à l'enfant scripteur	56
1.	Les premières traces graphiques	56
2.	Apparition des premières formes (entre 2 et 3 ans)	57

3. Conscience de la forme (entre 3 et 5 ans)	58
4. Vers la lettre (entre 5 et 6 ans)	59
5. Différenciation du système figuratif et du système non figuratif (à partir de 6 ans)	60
II. Le développement de l'écriture.....	60
1. Stade pré-calligraphique (de 6-7 ans à 8-9 ans).....	61
2. Stade calligraphique (de 8-9 ans à 12 ans).....	61
3. Stade post calligraphique (à partir de 12 ans)	61
III. Evolution de la tenue de l'outil scripteur chez l'enfant	62
IV. Posture du scripteur	63
Chapitre III : Ecriture mature	64
I. Tenue mature de l'outil scripteur	64
1. La prise tripode.....	64
1.1. La prise tripode statique	65
1.2. La prise tripode dynamique	65
Discussion.....	66
Conclusion.....	68

Introduction

Longtemps réservée à quelques initiés, dont elle assurait le pouvoir et le prestige, l'écriture s'est aujourd'hui démocratisée dans notre société. Pendant des siècles, la «*belle écriture*» fut un critère de qualité, témoin de l'ascension intellectuelle et sociale. Qu'en est-il à aujourd'hui à l'ère du numérique ? Avec l'usage grandissant des claviers numériques, est-il encore nécessaire de savoir écrire à la main ? C'est sur la base de cette réflexion que je me suis lancée dans la rédaction de ce mémoire.

Pour pouvoir tenter d'amener des éléments de réponse à ces interrogations, il m'a semblé nécessaire de définir les conditions qui ont présidé l'apparition de l'écriture dans l'histoire de l'Humanité. Une deuxième partie est dévolue à l'anatomie fonctionnelle de la main. Une troisième partie s'intéresse aux mécanismes de prise et de préhension. Une quatrième partie traite des composantes cognitives et neuromotrices du geste. Une cinquième et dernière partie aborde l'apprentissage de l'écriture chez l'enfant, pour mener à l'écriture mature chez l'adulte.

Ce fut un choix délibéré de ma part, de ne pas aborder le domaine de la pathologie, lié à cette thématique.

Partie I : Histoire de l'écriture

Chapitre I : Phylogénie

Il y a 7 millions d'années, les premiers hominidés font l'acquisition fondamentale de la locomotion bipède exclusive. Cette station redressée enclenche le développement de la boîte crânienne par rétroaction mécanique. L'encéphale croît en volume, augmente en surface (circonvolutions plus nombreuses) et se complexifie. Parallèlement la projection de la face se réduit, le palais se creuse, la langue devient plus mobile, ce qui autorise l'Homme à articuler [1]. « *L'usage d'un langage, si primitif fût-il, ne pouvait manquer d'accroître dans des proportions considérables la valeur de survie de l'intelligence, et donc de créer en faveur du développement du cerveau une pression de sélection puissante et orientée* » [2].

La cognition s'amorce dès 3 millions d'années, avec l'apparition du genre humain. Les mains libérées de leur fonction locomotrice façonnent l'outil, le manipulent et l'utilisent. Ces aptitudes se développent en corrélation avec la pensée conceptuelle. Les mains modifient la relation au monde, l'outil conditionne à son tour l'évolution. Le premier agent et vecteur du symbole fut le corps et plus particulièrement la main. Laisser une empreinte, laisser une trace. La capacité à symboliser « *inaugure la modernité de l'homme préhistorique et de ses sociétés* » [3].

I. Invention de l'outil

L'étude du comportement technique de l'homme préhistorique auprès de différents matériaux nous a permis d'accéder à ses capacités cognitives. Ainsi à un moment de son Histoire, l'Homme (*Homo habilis*) a atteint un certain niveau de conscience qui lui a permis d'anticiper pour parvenir à anticiper. Au lieu de saisir une pierre avec sa main pour s'en servir et la relâcher ensuite, il a su conserver cette pierre afin d'en frapper une autre pour la tailler et créer une forme. C'est l'avènement de l'outil manufacturé, qui est conçu en fonction d'un projet, dont la réalisation n'est pas toujours immédiate et qui s'inscrit dans une chaîne opératoire. L'analyse des outils manufacturés les plus anciens connus, ceux du site Gona dans la région d'Hadar, au Nord-Est de l'Éthiopie, âgés d'environ 2,6 et 2,4 Ma, révèle « *l'existence d'une succession de gestes élémentaires exécutés lors de la fabrication de l'outil* ». Apparaissent ensuite, il y a plusieurs centaines de milliers d'années, des activités de taille beaucoup plus complexes. Des plans de fabrication comprenant des étapes (changements d'opération, changements de techniques) sont mis à exécution pour aboutir à des produits normalisés. À l'ère paléontologique, il y a plusieurs centaines de milliers d'années, des « *chaînes opératoires élaborées démontrent, au-delà d'une excellente modulation des gestes, que ce sont des intentions spécifiées (des images mentales de formes, à valeur de concepts selon les termes de la psychologie cognitive) qui guident le cours de l'action, dont les modalités sont constamment ajustées à l'évolution de la pièce* » [4]. Ce savoir-faire « *idéatoire* », c'est-à-dire la capacité d'évoquer des enchaînements virtuels de gestes modulés et d'anticiper à la fois leur résultat et leur difficulté de réalisation, signe l'émergence de la pensée conceptuelle. La fabrication d'outils, via des stratégies maîtrisées du débitage de la pierre, est un seuil majeur de l'hominisation. Il a ouvert la voie à l'émancipation de l'homme et introduit la dimension culturelle.

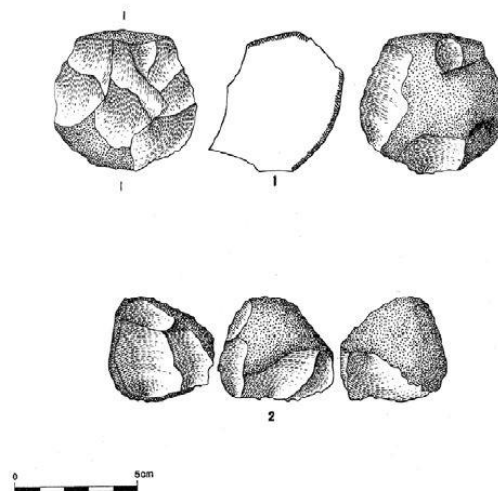


Figure 1 Débitage des nucléus

(De Lumley, 2006)

II. Invention du tracé

Les plus anciennes activités graphiques connues sont apparues il y a environ une centaine de milliers d'années en Afrique du Sud, durant le Paléolithique supérieur. Ce qui représente un infime fragment dans la temporalité de l'évolution de l'Homme, qui se poursuit depuis trois millions d'années. Ces manifestations graphiques (tracés linéaires ou curvilignes ou agencés selon une forme géométrique) finement incisées sur des coquilles d'œufs d'autruche de Diepkloof, ont été réalisées bien avant l'émergence des images figuratives apposées sur des objets naturels, sur des objets fabriqués et sur des parois rocheuses, aux environs de -35000 ans.

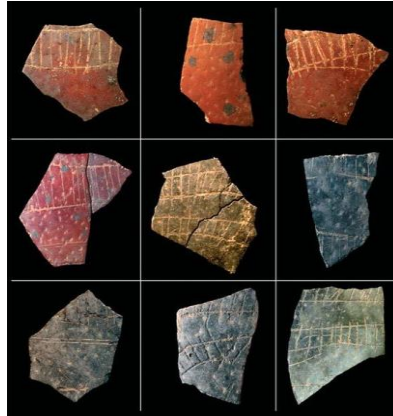


Figure 2 Coquilles d'oeufs de Diepkloof

Elles sont le fruit d'un système de représentations, né dans le cerveau de l'Homo Sapiens Sapiens, et notamment dans le lobe frontal. Ce dernier ayant pu se développer grâce à l'évolution anatomique crânienne du Sapiens : verticalisation de la face, retrait mandibulaire et augmentation antéro-supérieure de son volume.

« Avec le développement anatomique du néocortex frontal, le cerveau de Sapiens dans sa totalité fonctionnelle est devenu un outil plus performant, en particulier pour la production d'images. » [3]

Image comprise ici comme l'extériorisation de la pensée et de l'imaginaire.

III. La symbolisation

Avec l'avènement du graphisme, l'objet créé alors n'est plus un outil, *« l'objet créé est d'emblée une abstraction puisqu'il renvoie à une autre chose que lui-même et qui n'a aucun rapport physique avec lui »* [5]. L'objet a une réalité substantielle, de gravure, de dessin ou de peinture, mais sa fonction de symbole est précisément de signifier autre chose que cette matière concrète. Le symbole est l'objet affublé d'un sens. Cette symbolisation, cette capacité spécifique à créer du sens, à donner du sens et à favoriser la permanence des

souvenirs est bien le témoin de la naissance de la pensée pure. Ce sens est à partager et à interpréter avec d'autres individus du groupe dans lequel se construit un comportement symbolique. Cette capacité à symboliser, sous la forme de rituels, est alors à son tour, le moteur de l'évolution cérébrale et sociale du genre Homo. Elle inaugure la modernité de l'Homme préhistorique et de ses sociétés.



Figure 3 Mains négatives, Cueva de las Manos, Rio Pinturas, Argentine Unesco.org

Les empreintes de mains indiquent une évolution profonde du geste humain. Il n'est plus seulement employé pour la fabrication mais il devient le vecteur de l'art.

Tracer un signe nécessite d'établir un ordre d'exécution des gestes, de contrôler les mouvements de sa main et la direction des traits donc de maîtriser le *ductus* qui amènera à la forme souhaitée [6]. Avec l'analyse du signe, nous accédons à la cinématique de la main, à la direction opérée, à la force déployée. Le signe matérialise le geste qui le produit.

IV. Création d'une syntaxe visuelle

La syntaxe visuelle est le passage du signe isolé à l'association de plusieurs signes entre eux pour créer d'avantage de sens. Ces signes peuvent être des pictogrammes (contours d'animaux, figures humaines ou éléments de la nature, réduits à quelques traits fondamentaux), des idéogrammes (signes plus abstraits) ou des psychogrammes (dessins complexes, élaborés, composés de traits multiples) [7].

« Une représentation pariétale réaliste ne fait pas sens à partir de la réalité qu'elle désigne, mais dans son association avec les autres figures qui l'avoisinent et qui participent avec elle du même ensemble signifiant » [8].

V. L'outil traceur

Dans l'art pariétal (du latin parietalis, « *relatif au mur* »), les artistes adaptent en permanence la nature de leurs outils traceurs au support à traiter. L'étude des parois permet de déterminer quelle technique de dépôt de la matière picturale a été employée. Ainsi il a été déterminé qu'ils utilisent le doigt ou la main, le couteau (os façonné), le soufflé par l'intermédiaire de la bouche ou par l'intermédiaire d'une sarbacane constituée d'un ou parfois de plusieurs os creux, et le tampon [9].

Chapitre II : La genèse des écritures

« Voici, ô Roi, dit Theut, une connaissance qui rendra les Egyptiens plus savants, et leur donnera plus de mémoire : mémoire et science ont trouvé leur remède ». Le Roi lui répondit : « Très ingénieux Theut, tel est capable de créer les arts, tel l'est de juger dans quelle mesure ils porteront tort, ou seront utiles à ceux qui devront les mettre en usage. Et toi, à présent, comme tu es le père de l'écriture, par bienveillance tu lui attribues des effets contraires à ceux qu'elle a. Car elle développera l'oubli dans les âmes de ceux qui l'auront acquise, par la négligence de la mémoire ; se fiant à l'écrit, c'est du dehors, par des caractères étrangers, et non du dedans, grâce à l'effort personnel, qu'on rappellera ses souvenirs. Tu n'as donc pas trouvé un remède pour fortifier la mémoire, mais pour aider à se souvenir. »

Platon, *Phèdre*, 271c-275f

I. Apparition des signes d'écriture

L'invention de l'écriture apparaît comme l'avancée la plus importante dans l'histoire de l'humanité. Elle est celle qui a permis, pour une large part, la possibilité d'élaboration de l'Histoire et le fondement de la civilisation. Toute société évoluée a, au fil du temps, élaboré un système d'écriture manuscrite qui lui a donné le pouvoir, sur les plans matériel, intellectuel et spirituel, de fixer sa pensée, de la structurer et de la transmettre. Pourtant, les témoins archéologiques de ses diverses origines demeurent largement inaccessibles.

L'écriture est une invention récente. Si le langage existe depuis environ 100 000 ans, l'écriture elle, n'est apparue qu'il y a un peu plus de 5000 ans. L'écriture idéographique a été inventée plusieurs fois et de manière indépendante. En Basse Mésopotamie vers 3300 avant Jésus Christ, elle répond à des fins de transactions commerciales, d'archivage administratif et progressivement recouvre tous les domaines de la vie et de la pensée, en développant le vocabulaire. En Egypte, presque simultanément, l'usage de l'écriture

contribue à noter des fonctions, des noms et des événements, dans un contexte politique et des informations officielles, dans un contexte administratif (cadastre des champs). En Chine au milieu du II^{ème} millénaire avant Jésus Christ, elle s'inscrit dans un contexte politique et religieux. En Mésopotamie, chez les Sumeriens, entre 3000 et 2500 avant notre ère, elle est créée pour les besoins d'un calendrier d'Etat. C'est seulement à partir de la diffusion de l'alphabet phénicien (vers -1000 av. JC) que les écritures entrent dans un système de filiation ininterrompue.

« L'avènement de l'écrit dans le développement des sociétés humaines représente un événement considérable scindant l'histoire humaine en un avant (l'ère préhistorique) et un après (l'histoire). » [10]

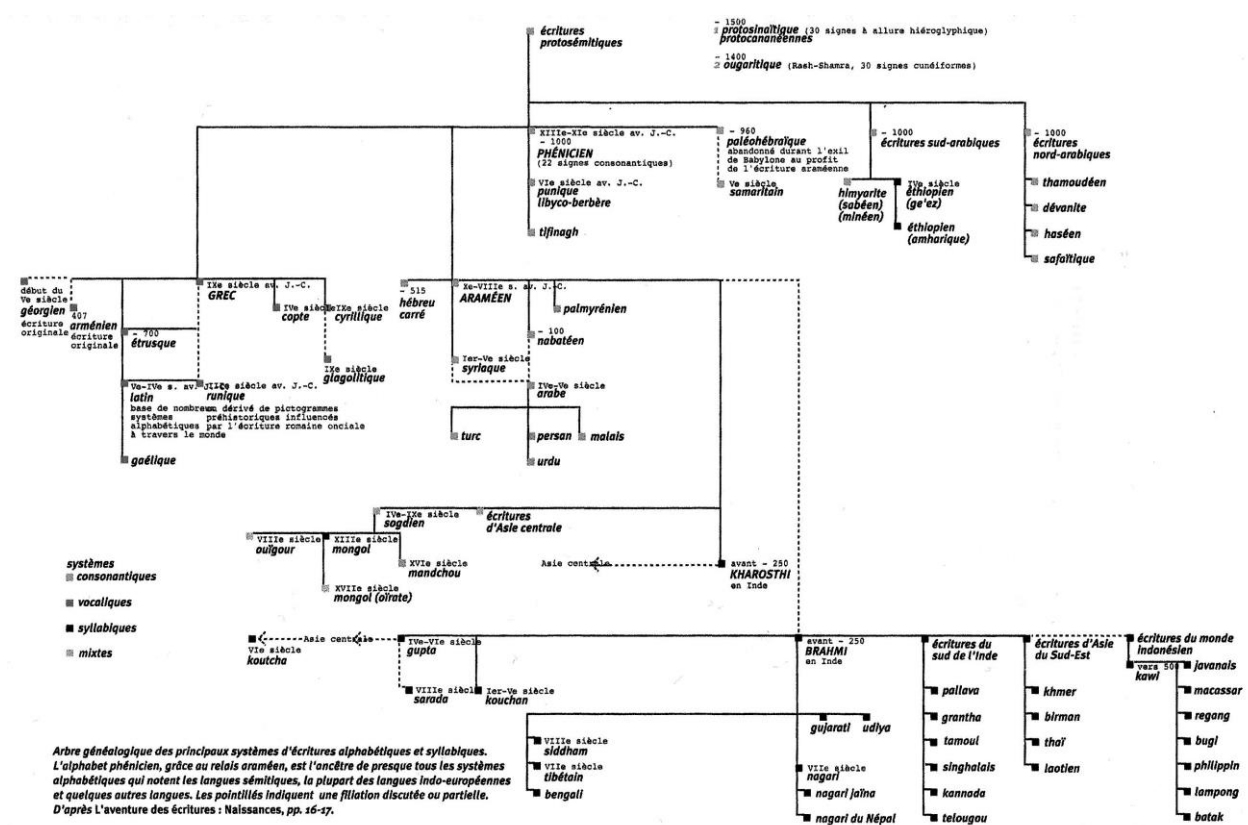


Figure 4 Arbre généalogique des principaux systèmes d'écriture

(Zali, 2001)

Selon la région d'origine, l'étymologie du terme « écrire » désigne soit un rapport au support, à la graphie et au geste qui la fait naître, mais jamais une relation précise avec une langue. En sumérien, deux verbes signifient « écrire ». « Sar » qui désigne le fait d'aller vite et droit et « hur » qui suggère le geste de tracer des traits, de dessiner. En égyptien, le terme « sꜥ » désigne à lui seul, l'action de dessiner, de peindre et d'écrire. Il se représente par une palette de scribe, un calame et un rouleau de papyrus. En grec, « graphein » signifie aussi bien « écrire » que « dessiner ». En latin, « sribere » veut dire inciser, couper. En arabe, « ktb » évoque l'idée de rassembler des lettres en mots mais aussi de traces de pas.

II. Evolution de l'outil scripteur

La première forme d'écriture, inventée par les Sumériens, recourait à un calame (stylet) pour graver des symboles sur une tablette d'argile. Par extension et dans ses principes, le stylo peut être ainsi considéré comme un moyen d'écriture ancestral et universel. Avec cet outil, le scripteur doit créer complètement les signes (lettres, espaces, ponctuation) qui composent la trace. L'écriture manuscrite comporte un aspect plastique qui s'approche du dessin et le scripteur est responsable de la lisibilité des lettres. Avec la mécanisation, l'imprimerie puis la machine à écrire ont pris en charge et standardisé la formation des lettres. Dans le cas de la machine à écrire, seuls la forme, l'espacement et l'alignement des lettres ont été cédés à l'outil. Le rédacteur doit encore réaliser la mise en page. Avec l'informatisation, et les logiciels de traitement de texte, la dématérialisation de la trace a permis au scripteur de s'affranchir de cette dernière tâche. Les retours à la ligne et l'espacement des mots sont automatiquement calculés au cours de l'écriture. L'avènement des tablettes tactiles modifie à nouveau les conditions d'écriture, en alliant l'intérêt du traitement de texte à la possibilité d'interventions manuelles directes sur le texte (avec ou sans stylet), comme dans le cas du papier-crayon (cf. Annexe 1).

Partie II : La main

Chapitre I : Organisation générale

I. Anatomie fonctionnelle de la peau

La peau occupe une place stratégique et privilégiée à l'interface entre l'extérieur et l'intérieur de l'organisme. Elle participe étroitement à la fonction préhensive de la main par les qualités de son revêtement cutané d'une part, et d'autre part par la richesse de ses éléments sensitifs.

1. Le revêtement cutané

La structure générale de la peau est complexe. Elle est constituée de quatre régions superposées qui sont, de la superficie vers la profondeur : l'épiderme, la jonction dermo-épidermique, le derme et l'hypoderme. Au niveau de la main, le revêtement cutané présente des particularités tant sur le plan anatomique que fonctionnel, avec mise en opposition de deux zones bien distinctes : la peau palmaire et la peau dorsale. Les différences histologiques observées témoignent de l'adaptation des tissus à leur fonction spécifique [11].

1.1. La peau palmaire

La peau palmaire est caractérisée par son épaisseur au niveau du derme et de l'épiderme, au niveau notamment de la couche cornée, lui conférant une forte résistance mécanique [12]. Subissant d'importantes contraintes de pression, elle joue un rôle de protection à l'appui.

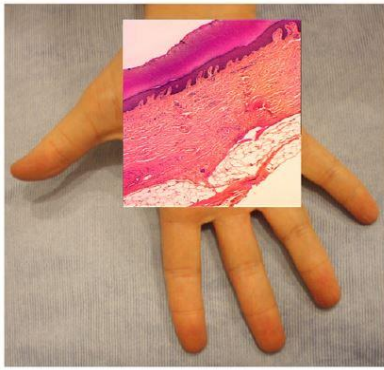


Figure 5 Peau palmaire

(Della Volpe, Andrac, Casanova, Legré, & Magalon, 2012)

Il existe un ancrage dermo-épidermique entre la membrane basale et le derme superficiel. Les dermes moyen et profond sont eux-mêmes solidaires des plans aponévrotiques sous-jacents et des plans osseux par le biais de cônes fibreux ou ligaments cutanés de Cleland [13]. Ces fixations évitent un glissement entre la peau et les plans profonds. Elles permettent donc une *transmission directe* des forces de serrage sur l'objet saisi, *sans risque de dérapage, élément fondamental de la stabilité des prises* [11].

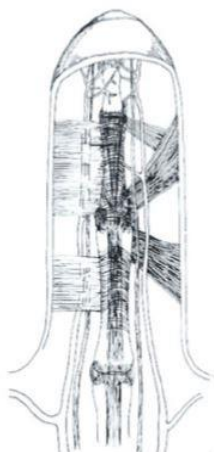


Figure 6 Ligaments de Cleland et de Grayson d'après Milford

(Zwanenburg, Werker, & McGrouther, 2014)

1.1.1. La peau palmaire dans les zones de prise

Dans les zones de prise, du tissu adipeux est interposé entre le plan aponévrotique superficiel et la face profonde du derme moyen et profond. Ce tissu étant maintenu par des tractus fibreux de fixation cutanée formant ainsi des lobules, appelés coussinets adipeux.

Il existe quatre zones de localisation de ces coussinets :

- le coussinet thénarien, situé au niveau de l'éminence thénar,
- le coussinet hypothénarien, situé au niveau de l'éminence hypothénar,
- le coussinet métacarpo-phalangien, situé à la face antérieure des têtes des métacarpiens,
- les coussinets phalangiens, situés à la face antérieure des phalanges des doigts longs et du pouce. Avec une particularité au niveau de la pulpe où les trabéculations fibreuses relient le périoste de la phalangette à la face profonde du derme.

Ces coussinets adipeux constituent des éléments essentiels à la préhension. Leur structuration lobulaire et leur caractère déformable permettent :

- une résistance mécanique et un amortissement aux pressions,
- une augmentation de la surface de contact avec l'objet saisi, permettant une amélioration de la capacité de rétention des prises,
- une capacité d'adaptation à la forme de l'objet, assurant une prise confortable.

1.1.2. Les dermatoglyphes

Les dermatoglyphes sont des *striations cutanées* présentes sur la totalité de la surface cutanée palmaire. Ils sont le reflet de l'agencement et du relief des crêtes papillaires dans le derme. La surface cutanée palmaire est organisée en structures polyédriques. Ces structures observent une adaptation immédiate à une contrainte mécanique périphérique en modifiant leur forme initiale (longueur, largeur, hauteur). Une fois qu'une unité structurelle a atteint ses capacités de réponse, une sous-unité prend le relai. Les structures avoisinantes ne sont pas impactées car la force est absorbée progressivement dans la continuité tissulaire, c'est

le processus de *fractalisation*. Dès l'arrêt de l'application de la contrainte, les structures se réagencent selon leur position de départ [14].

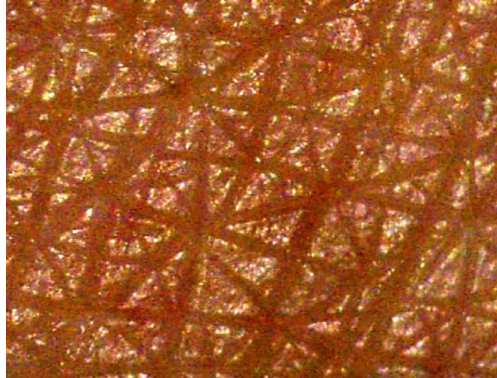


Figure 7 Organisation en unités polyédriques de la surface cutanée

(Guimberteau, 2010)

1.1.3. Les glandes sudoripares eccrines

La peau palmaire contient d'abondantes glandes sudoripares eccrines qui s'ouvrent directement à la surface de la peau. Leurs sécrétions augmentent l'adhérence cutanée et favorisent la prise.

1.2. La peau dorsale

La peau dorsale présente un épiderme peu épais, équipé d'une couche cornée mince. Le derme est mince, peu pourvu en fixations profondes. La peau est donc fine, souple et possède une grande mobilité et une extensibilité remarquable afin de permettre le jeu articulaire des doigts en flexion. Il existe des plis d'aisance en regard des articulations interphalangiennes. Les ligaments de Grayson maintiennent les replis cutanés en place au dos des articulations interphalangiennes et empêchent la peau de se déplacer longitudinalement [15].

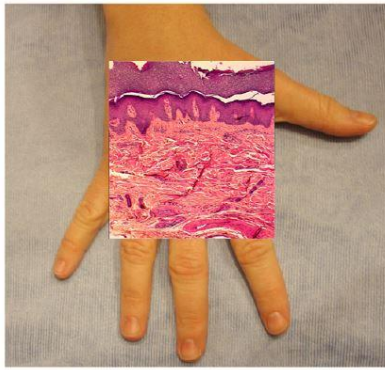


Figure 8 Peau dorsale

(Della Volpe, Andrac, Casanova, Legré, & Magalon, 2012)

1.3. Le cloisonnement dorso-palmar

Les deux revêtements cutanés palmaire et dorsal sont indépendants grâce à des adhérences qui les fixent au niveau de leur frontière commune, aux plans profonds sous-jacents. Cet ancrage est net sur le bord ulnaire de la paume et sur les bords latéraux des doigts.

1.4. Les phanères

Au niveau de l'extrémité distale des doigts, en regard de la face dorsale des phalanges terminales, existent des annexes spécialisées : les ongles. Ceux-ci, riches en kératine, sont constitués de deux parties : un corps et une racine. Ils opèrent des fonctions de protection, de plan fixe de contre pression de la sensibilité pulpaire tactile. Par leur large étalement, ils constituent un squelette additionnel qui sert de support à la pulpe et jouent donc un rôle prépondérant dans les prises fines.

2. La sensibilité cutanée

La peau est un organe sensoriel qui permet à la main d'explorer son environnement par le toucher. La sensibilité cutanée est indispensable à la conduite des fonctions de la main et notamment la préhension [16]. Elle est le guide de l'activité motrice. De nombreuses

terminaisons nerveuses sont contenues dans la peau de la main formant ainsi une « *matrice de capteurs* » [17].

2.1. Au niveau de l'épiderme

Deux structures se trouvent au niveau de l'épiderme : les terminaisons libres et les formations corpusculaires non encapsulées. Les terminaisons libres comprennent les mécanorécepteurs C, à adaptation lente, les thermorécepteurs et les nocicepteurs. Les complexes cellulaires de Merkel ou disque de Pinkus, formations corpusculaires non encapsulées, sont des mécanorécepteurs à adaptation lente. Ils sont particulièrement abondants au niveau de la paume de la main et de la pulpe des doigts.

2.2. Au niveau du derme

Au niveau du derme, nous retrouvons différents types de formations corpusculaires encapsulées. Les corpuscules de Meissner qui siègent au niveau des papilles dermiques de la peau palmaire, sont des mécanorécepteurs, à adaptation moyennement rapide, impliqués dans le toucher. Les corpuscules de Vater-Pacini et les corpuscules de Krause sont des mécanorécepteurs impliqués dans la perception des vibrations, à adaptation très rapide. Les corpuscules de Ruffini sont, eux, impliqués dans la perception de la pression et de l'étirement.

Ces mécanorécepteurs cutanés sont sensibles aux déformations de la peau, liées à la mise en contact des doigts avec l'objet lors d'une prise. Ils permettent de contrôler la vitesse et l'intensité de la force de serrage optimale est atteinte lorsqu'il y a cessation du glissement de l'objet.

II. La structure osseuse

1. Les rayons de la main

Cinq au total, chaque rayon constitue une chaîne digitale ostéo-articulaire et comprend un métacarpien et des phalanges. Ils constituent la « *charpente squelettique de la main* ».

[18]. Les rayons digitaux travaillent en flexion-extension selon la spirale de Fibonacci (Litler), avec des composantes de rotation axiale et de translation latérale [19]. L'index et le majeur opèrent notamment, de façon globale, au niveau des articulations métacarpo-phalangiennes, interphalangiennes proximales et inter phalangiennes distales, une supination facilitant la mise en opposition avec le pouce.

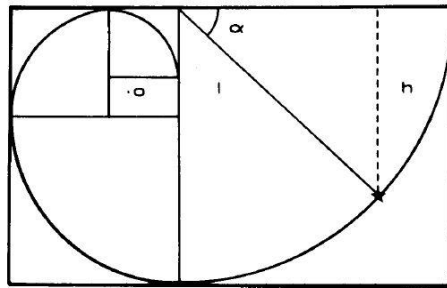


Figure 9 Spirale de Fibonacci Nombre d'Or

La chaîne du pouce, plus courte, dirigée vers l'avant, dotée d'une grande mobilité permet d'assurer le mécanisme essentiel de l'opposition.

2. Les éléments fixes et les éléments mobiles

Les éléments fixes comprennent la deuxième rangée des os du carpe et les deuxième et troisième métacarpiens. Les éléments mobiles comprennent les phalanges et les métacarpiens périphériques, essentiellement le premier et le cinquième.

III. Les arches de la main

Les arches de la main constitue une structure stable activo-passive.

1. Les arches transversales

1.1. L'arche carpienne

Elle est située à la base de la paume, au niveau de la concavité du massif carpien.

1.2. L'arche métacarpienne

L'arche métacarpienne est une ligne courbe à concavité palmaire reliant la tête des cinq métacarpiens.

Elle possède un axe de stabilité, représenté par les deux métacarpiens fixes et deux axes de mobilité, qui lui confèrent de grandes capacités d'adaptation. D'une part, le pouce, extrêmement mobile, d'autre part, le quatrième et surtout le cinquième métacarpien sont mobiles au niveau des articulations carpo-métacarpiennes ce qui permet d'amplifier la force de serrage lors de la préhension et d'adapter la main à la prise d'objets de différentes tailles.

2. Les arches longitudinales

Au nombre de cinq, elles comprennent :

- une portion fixe carpo-métacarpienne,
- une portion mobile constituée par les chaînes digitales.

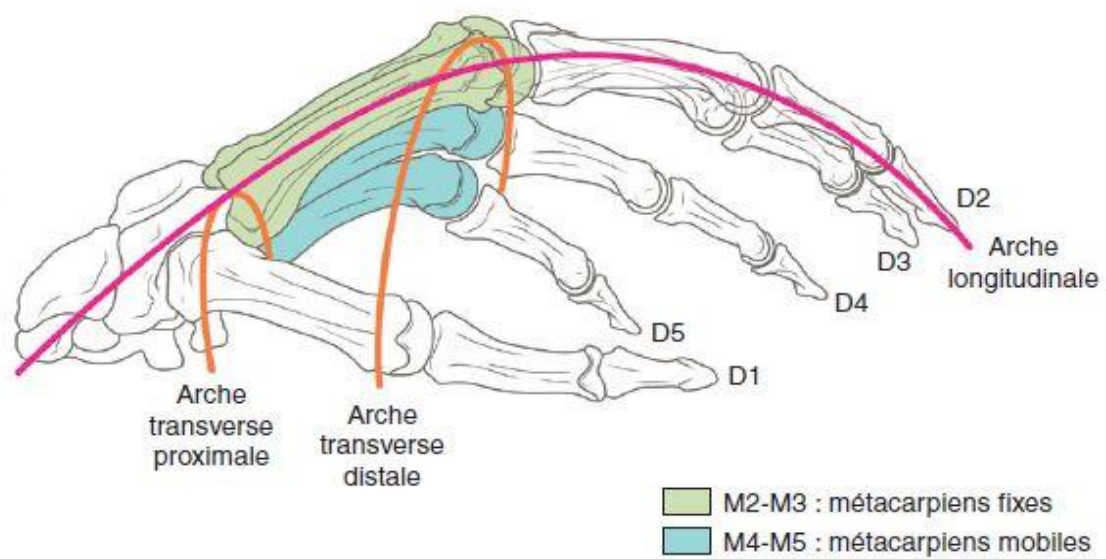


Figure 10 Les arches de la main

(Isel & Merle, 2012)

IV. La structure fibreuse

La structure fibreuse renforce le squelette osseux.

Elle possède une multitude de fonctions, représentées sur le schéma ci-dessous [20].

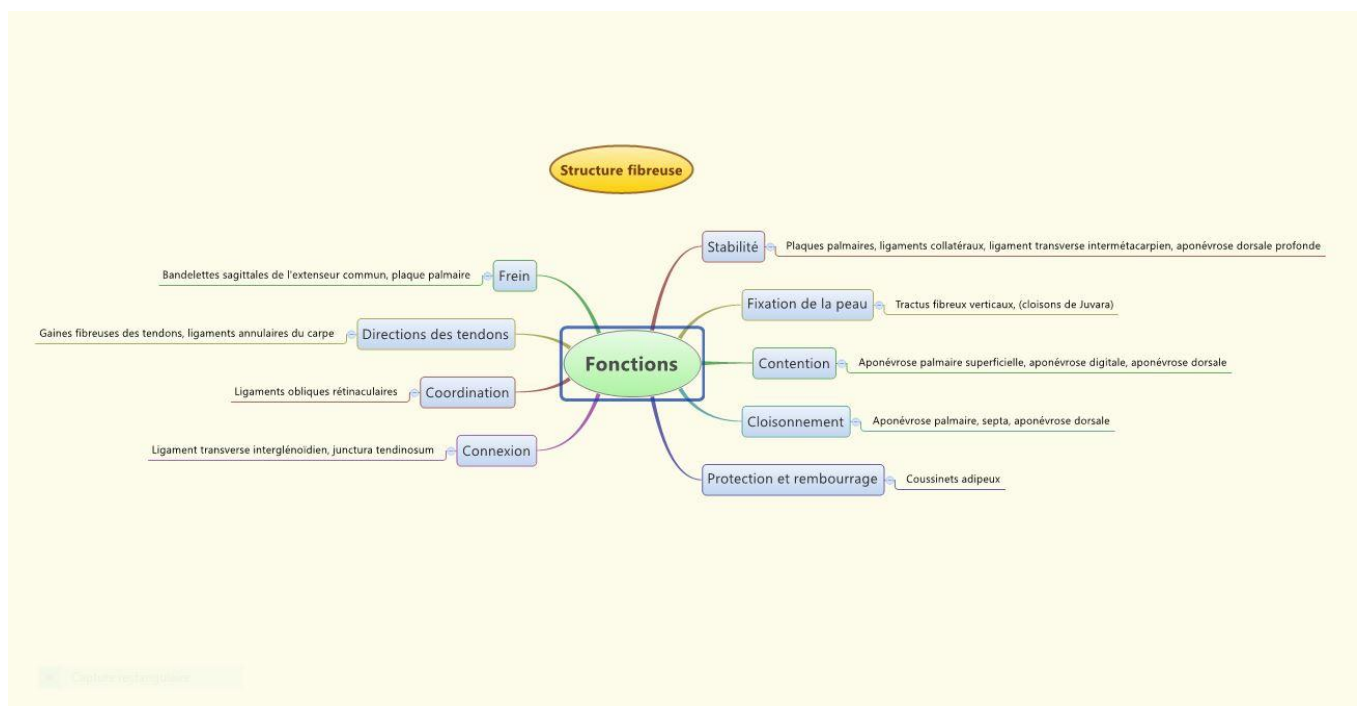


Figure 11 Structure fibreuse et ses fonctions

(d'après Prof. Tubiana, 1980)

Le squelette fibreux joue un rôle de soutien et d'union des segments osseux afin de stabiliser les arches transversales et longitudinales.

V. Le système musculaire

Le système musculaire a pour fonction de mobiliser mais aussi de stabiliser les leviers osseux. Il est lié anatomiquement au système passif ostéo-fibreux.

Il peut être divisé en deux groupes :

1. Un système long, extrinsèque :

Ce système est composé des muscles extenseurs et fléchisseurs dont les corps musculaires sont situés au niveau de l'avant-bras. Ils sont prolongés par des tendons et distribués dans la main afin de mobiliser les colonnes digitales dans le sens de l'enroulement-déroulement.

1.1. Muscles longs fléchisseurs

Pour garantir un jeu articulaire optimal, les tendons doivent pouvoir se mobiliser selon une course tendineuse importante. Cette course tendineuse se trouve facilitée par la présence d'un appareil de glissement constitué, dans les zones non resserrées, par le paratendon et, dans les zones rétrécies, par des gaines synoviales.

Le maintien des tendons au plan osseux est assuré par des gaines fibreuses, qui ont aussi un rôle de poulies de réflexion lorsque le tendon change de direction

Les muscles longs fléchisseurs des doigts sont beaucoup plus puissants que les extenseurs. Ce sont eux qui assurent la prise et la tenue d'un objet et travaillent donc contre résistance [21].

1.2. Muscles longs extenseurs

Les tendons des muscles longs extenseurs sont individualisés du plan osseux et du plan cutané par de fines membranes synoviales qui ont une fonction de facilitation de leur

glissement. Au dos du poignet, les tendons sont répartis selon six coulisses ostéo-fibreuses permettant leur passage sous le rétinaculum des muscles extenseurs.

Au niveau du dos du métacarpe, ils sont solidarisés transversalement par les connexus intertendineux ou juncta tendinosum.

Au niveau des articulations métacarpo-phalangiennes, les bandelettes latérales maintiennent le tendon en position centrale.

Au niveau digital, les petits muscles lombricaux s'insèrent sur système extenseur à la face latérale des doigts.

Les extenseurs, eux, permettent le lâchage de la prise.

2. Un système court, intrinsèque :

Ce système est composé de muscles courts, dont les insertions proximales et distales se situent au sein même de la main, formant le plancher palmaire. Ils ont une vocation de stabilisation qui complète l'action des muscles longs sur les chaînes digitales.

2.1. Les muscles interossei

Les muscles interossei réalisent la flexion des articulations métacarpophalangiennes et l'extension des articulations interphalangiennes proximales et distales. Ils permettent aussi les mouvements de latéralité des doigts. Lors d'une contraction unilatérale, ils entraînent une rotation de la base de la phalange proximale. Ils se scindent donc en deux groupes : un groupe pronateur et un groupe supinateur.

2.2. Les muscles lombricaux

Les muscles lombricaux interviennent dans le réglage du tonus entre les muscles fléchisseurs et les muscles extenseurs. Leur activité est effective lors de l'extension durant laquelle ils facilitent l'extension des phalanges moyennes et distales.

Chapitre II : Le pouce

Il est le doigt de la main le plus important en raison de son positionnement, de sa mobilité, de sa force et des relations qu'il entretient avec les autres doigts. Il est capable de s'opposer à chacun d'entre eux ainsi qu'à la paume grâce à la grande mobilité de son premier métacarpien. Il a donc un rôle capital dans la préhension. Cette liberté extrême du premier rayon est permise par la configuration articulaire de ses trois articulations et notamment celle située à la base du pouce, l'articulation trapézo-métacarpienne qui présente deux vrais degrés de liberté articulaire et un troisième degré entraînant une rotation axiale longitudinale conjointe du premier métacarpien [22]. La position orientée en avant de 40° de la première colonne y contribue aussi nettement.

I. Anatomie de l'articulation trapézo-métacarpienne

L'articulation trapézo-métacarpienne est une articulation dont la complexité anatomo-biomécanique assure à la fois la grande mobilité et la stabilité de la colonne du pouce au cours de la prise. Elle met en présence deux surfaces articulaires, à la configuration concave-convexe, qui sont non congruentes du fait d'une différence de leur rayon de courbure. Ce défaut de congruence permet un jeu mécanique conséquent au niveau des éléments osseux mis en présence. Cette articulation est équipée d'une capsule souple. La stabilité, ainsi que les limites de l'amplitude des mouvements, mais aussi la mobilité, nous le verrons, sont assurées par deux systèmes ligamentaires : le complexe ligamentaire postéromédial et les ligaments antérolatéraux. Le complexe ligamentaire postéromédial se compose du ligament oblique postérieur (POL), du ligament oblique antérieur (ALO), du ligament intermétacarpien (IML) et du ligament rétinaculométacarpien, le plus antéromédial. Ce dernier ligament assure un rôle prépondérant de suspension et d'ancrage du tubercule postéromédial de la base du premier métacarpien. La suspension assure la stabilité. L'ancrage permet d'opérer un mouvement de translation (ou décentrage) du premier métacarpien le long de la concavité articulaire trapézienne lors de sa rotation dans le mouvement d'opposition. La

fonction du ligament antérolatéral consiste à renforcer l'action du complexe ligamentaire postéromédial en limitant la translation latérale de la base du premier métacarpien sur la surface articulaire trapézienne et en limitant son hyperpronation [23].

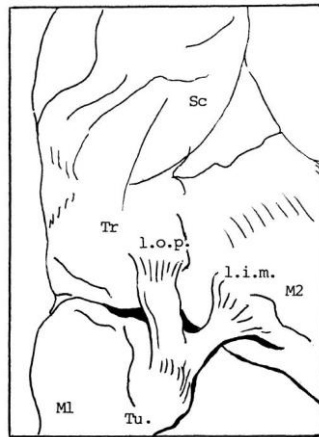


Figure 12Le complexe ligamentaire postéromédial

(Kuhlmann, 2001)

La position la plus fréquemment utilisée est l'attitude en flexion, adduction, pronation ce qui correspond à la position d'une prise pulpo-pulpaire qui met en contact les pulpes du pouce et de l'index.

II. Les muscles du pouce et leurs fonctions

La musculature extrinsèque est constituée par les muscles longs du pouce : Flexor Pollicis Longus (FPL), Abductor Pollicis Longus (APL), Extensor Pollicis Brevis (EPB), Extensor Pollicis longus (EPL). Sa musculature intrinsèque, comprenant le premier interosseux dorsal (1^{er} IOD), le premier interosseux palmaire (inconstant) et les quatre muscles thénariens : Abductor Pollicis Brevis (APB), Flexor Pollicis Brevis (FPB), Opponens Pollicis (OP), Adductor Pollicis (AP), est plus puissante que sa musculature extrinsèque. En plus de ses fonctions motrices, elle assure en complément du système ligamentaire, la stabilité de l'articulation

trapézométacarpienne. Le couple Opponens Pollicis et 1^{er} IOD notamment permettent le contrôle de la rotation du premier métacarpien et le maintien postéro-latéral de l'articulation trapèzo-métacarpienne [24].

Muscles	Actions principales	Innervation
FPL	Flexion de l'interphalangienne du pouce	Nerf médian (C6,7,8,T1)
APL	Ecartement du pouce	Nerf médian (C6,7,8,T1)
EPB	Extension de P1 sur M1	Nerf radial (C6,7,8)
EPL	Extension de P2 sur P1 Rétroposition du pouce	Nerf radial (C6,7,8)
APB	Abduction et antéposition du pouce (recentrage ATM) Opposition	Nerf médian (C6,7,8,T1)
FPB	Opposition du premier métacarpien	Faisceau superficiel, nerf médian (C6,7,8,T1) Faisceau profond, nerf ulnaire (C8,T1)
OP	Pronation du premier métacarpien Abduction et antéposition du pouce (recentrage ATM)	Nerf médian (C6,7,8,T1)
AP	Rapprochement du premier métacarpien du second.	Nerf ulnaire (C8,T1)

III. L'opposition

L'opposition est un mouvement combiné, mettant en jeu les trois segments de la colonne du pouce :

- le métacarpien observe un mouvement d'antéposition puis d'adduction accompagnée d'une rotation longitudinale automatique en pronation,
- L'articulation métacarpo-phalangienne effectue une flexion en pronation et inclinaison latérale,
- l'articulation interphalangienne effectue une flexion accompagnée d'une pronation.

L'opposition permet l'adaptation de l'orientation de la pulpe du pouce, selon la prise envisagée.

La Contre opposition permet le lâcher de la prise.

Partie III : Prise / préhension

La main de l'espèce humaine est l'organe spécialisé de la préhension. Celle-ci est basée sur l'opposition, faculté qu'a le pouce de se porter vers les autres doigts pour former des pinces ou des prises. Depuis l'Homme Néandertalien, la main a développé une opposition du pouce presque complète qui lui permet de s'affranchir de la seule préhension enroulement et de disposer de la pince à deux ou trois mors.

La *prise* peut être définie comme l'action mécanique de solidarisation temporaire de la main et de l'objet. Elle correspond à la disposition anatomique des doigts et de la main au moment même où ils entrent en contact avec l'objet. C'est le moment effectif de l'acte.

La *tenue* se définit de la même façon mais avec cette fois une notion de temporalité plus longue.

La *préhension* est l' « ensemble des fonctions mises en jeu lors d'un acte volontaire ayant pour but de prendre un objet, avant, pendant et après la prise proprement dite. » Il y a une notion d'intentionnalité du geste.

Chapitre I : La prise

Il existe une large variété de possibilités d'adaptation de l'organisation de la structure biomécanique de la main, nécessaire à la prise d'objets ou d'outils différents. La variabilité d'une prise est donc infinie. Elle dépend de deux éléments, d'une part des caractéristiques de l'objet (taille, forme, surface, température, poids, consistance, texture, et autres qualités physiques qui conditionnent la façon de prendre cet objet) et d'autre part de la finalité du geste.

I. Etude mécanique de la prise

Lors d'une prise, il existe différentes forces auxquelles l'objet est soumis : D'une part, des forces de gravité et de frottements. Ces dernières étant majorées par la présence des dermatoglyphes et des glandes sudoripares eccrines qui potentialisent l'adhérence.

D'autre part, des forces développées par la main. Celles-ci sont engendrées par la contraction des muscles extrinsèques et intrinsèques (action simultanée des muscles agonistes et antagonistes). La modulation de leurs contractions détermine l'apparition de forces résultantes qui peuvent être appliquées à l'objet. Ces forces résultantes trouvent leur origine au niveau des pièces squelettiques, notamment des phalanges. La transmission de ces forces se fera au travers des parties molles de la main constamment interposées entre les os et le corps saisi [25].

II. Classification des types de prises

1. Classification en fonction du nombre de forces appliquées sur l'objet

[26]

1.1. La prise unilatérale ou prise de soutien

L'objet repose, grâce à la pesanteur, sur tout ou une partie de la surface palmaire. La main est de façon générale en position aplatie et les arches sont ouvertes. Le poignet est en extension, l'avant-bras en supination. L'objet est instable mécaniquement car il n'est pas immobilisé mais soutenu. Il existe une adaptation possible de la taille du support par un écartement plus ou moins important des doigts de façon à modifier le polygone de sustentation.

1.2. Les prises bilatérales

Les prises bilatérales s'effectuent en pince en opposant généralement l'extrémité du pouce à l'extrémité de l'index, plus rarement à celle du médus et des autres doigts longs, sans participation de la paume. La pince pouce-index est la plus précise et la plus utilisée. Les deux surfaces des points de contact sur l'objet ne sont pas grandes. La pression est isométrique entre le pouce et le doigt long concerné. Elles s'adressent à la prise de petits objets.

1.2.1. La pince termino-terminale

Elle met en contact la partie distale des pulpes du pouce et de l'index, voire même le bord des ongles. Elle s'adresse à de très fines préhensions et développe peu de force.

1.2.2. La pince pulpo-pulpaire ou sub-terminale



La totalité de la surface pulpaire du pouce et de l'index sont en contact avec l'objet. Cette pince est très utilisée dans la prise de petits objets et assure une prise plus stable.

1.2.3. La pince pulpo-latérale ou « key pinch »

La pulpe du pouce vient s'opposer à la face latérale de la phalange moyenne de l'index. Cette pince assure une prise d'une grande fermeté, d'autant que les autres doigts viennent renforcer l'appui exercé sur l'index.

1.2.4. La pince interdigitale

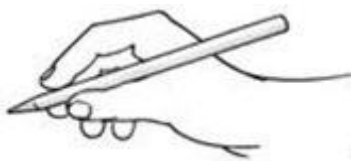
Elle s'effectue entre deux doigts longs adjacents. Elle s'adresse aux objets légers et de petit volume car peu stable mécaniquement.

1.3. Les prises multilatérales

1.3.1. La prise pollicidigitale

Le pouce a un rôle prépondérant dans ce type de prise, par ses capacités d'opposition aux autres doigts. Dans cette position, la brièveté de longueur de sa colonne osseuse positionne sa pulpe directement en regard des pulpes des quatre autres doigts.

1.3.2. La prise tridigitale



Elle est assez caractéristique de l'espèce humaine. Elle oppose le pouce, l'index et le majeur. Elle assure une grande stabilité et une grande précision pour la manipulation de petits objets. Elle est utilisée pour les travaux les plus fins et les plus habiles et notamment pour l'acte d'écriture.

En situation de tenue de l'outil scripteur, les doigts sont en situation de Chaîne Cinétique fermée. L'appui de l'index se trouve en position arquée, l'articulation interphalangienne distale se trouve en extension l'articulation interphalangienne proximale est positionnée en flexion et l'articulation métacarpophalangienne est fléchie modérément. Le contact est élargi à toute la partie palmaire de la phalange distale du pouce et de l'index.

1.3.3. La prise digito-palmaire

La prise se fait par opposition des doigts, en position d'enroulement, au plan de la paume. Elle exclut théoriquement le pouce et réalise un « crochet digital ». C'est une prise de force en traction ou en suspension.

1.3.4. Pince digitothénarienne

La prise est globale, elle se fait en appui entre les doigts et le pouce, dans la première commissure.

1.3.5. Prise en étau

Le pouce s'oppose aux doigts tendus, en position de flexion des articulations métacarpophalangiennes, dans l'axe du troisième métacarpien.

1.3.6. Prise sphérique

.



La prise se fait par un creusement des arches transversales et un écartement maximum des doigts. La main s'adapte au volume de l'objet et l'entoure l'objet de toutes parts.

1.3.7. Prise cylindrique



La prise cylindrique est une prise digito-palmaire, verrouillée par le pouce. La main s'adapte au diamètre du cylindre. Cette prise manque de stabilité si le pouce et l'index ne peuvent pas la verrouiller complètement en faisant le tour de complet l'objet.

2. Classification en fonction de l'usage selon Napier

[27]

2.1. Prise de force ou « power grip »

L'objet est maintenu serré au creux de la paume par un enroulement global des doigts, avec une prédominance d'action de la partie médiale de la main. Le poignet est en inclinaison ulnaire et flexion dorsale.

– Groupe extrinsèques

Dans une prise de force, les muscles fléchisseurs des doigts sont très actifs, notamment les muscles fléchisseurs superficiels.

– Groupe intrinsèques

Tous les muscles intrinsèques de la main sont impliqués dans la prise de force.

Néanmoins ce sont principalement les muscles interosseux qui agissent en :

- provoquant la flexion en force des articulations métacarpophalangiennes
- verrouillant les premières phalanges en rotation ou contre-rotation, faisant tourner les doigts sur leur axe long.

Les pulpes des doigts, ainsi positionnées en alignement avec la surface saisie, permettent aux muscles extrinsèques d'utiliser au mieux leur puissance (proportionnelle au poids de l'objet saisi).

2.2. Prise de finesse ou « precision grip »

Un contrôle fin de la motricité et de l'application de la force est nécessaire à ce type de prises. Les prises de finesse s'organisent grâce à la partie latérale de la main. Elles s'effectuent entre la pulpe du pouce et la pulpe des phalanges distales des doigts longs. Elles se réalisent le plus souvent en flexion dorsale-inclinaison radiale du poignet et sont permises grâce à l'activité de soutien des muscles extenseurs radiaux. La partie ulnaire peut être en appui sur un support notamment dans l'acte d'écriture.

3. L'articulation du poignet

L'articulation du poignet est située à presque mi-distance des insertions proximales et distales des longs muscles fléchisseurs des doigts. Par son positionnement, ce complexe articulaire aura une répercussion notable sur la force développée par ce groupe musculaire. Son rôle sur les longs muscles fléchisseurs s'opère de deux façons. Premièrement, par le jeu de flexion-extension (effet ténodèse), il augmente ou diminue la force globale de la flexion de la prise digito-palmaire. En effet, en position de flexion de l'articulation du poignet, les muscles longs fléchisseurs des doigts, pourtant placés en course interne, développent moins de force qu'en position d'extension moyenne (30 à 40°), où cette fois ils se situent en course moyenne. C'est dans cette course moyenne que la prétension musculo-tendineuse est favorable au développement de la force la plus efficace. En position d'extension maximale de l'articulation du poignet, la force de contraction des longs muscles fléchisseurs des doigts diminue également, l'allongement myo-tendineux extrême étant défavorable au processus contractile. Deuxièmement par la mise en inclinaison latérale, côté ulnaire ou côté radial, il dirige la force sur le groupe médial ou latéral des quatre doigts longs. Les muscles

intrinsèques, situés en aval de l'articulation du poignet ne subissent aucune influence de son positionnement [28].

Chapitre II : Phases de la préhension

Il existe une série d'étapes qui permettent de définir la globalité du geste de préhension. Il y a systématiquement au départ de l'acte, une motivation, une décision. Le mouvement est volontaire et intentionnel.

Dans ce type de tâche motrice, la main est la partie du membre dont le déplacement est planifié : c'est le point de travail du membre.

Dès que la main est projetée vers l'objet, celle-ci est mise dans la position qui lui permettra une prise à la fois commode et propice au déroulement de l'acte voulu [29].

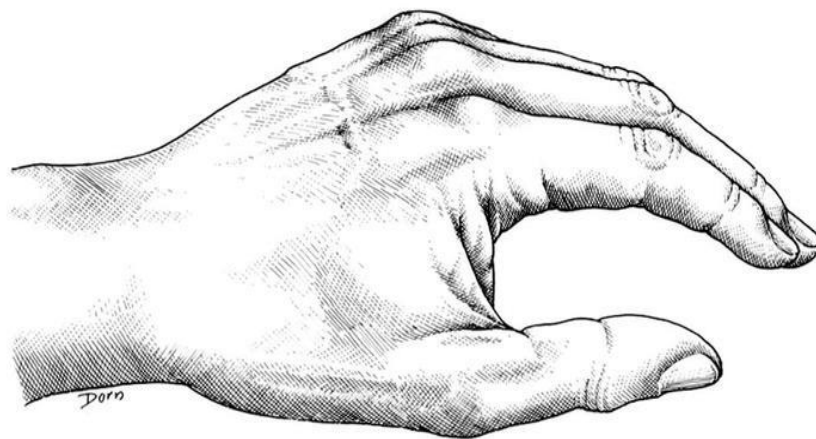


Figure 13 Position de fonction de la main

(Mansat, 1990)

I. Attitude préhensile

Dès 1867, Duchenne de Boulogne avait observé et décrit dans son œuvre « *La physiologie des mouvements* » que la main humaine change radicalement d'attitude entre la position de repos et la position préhensile, position adoptée pour saisir un objet.

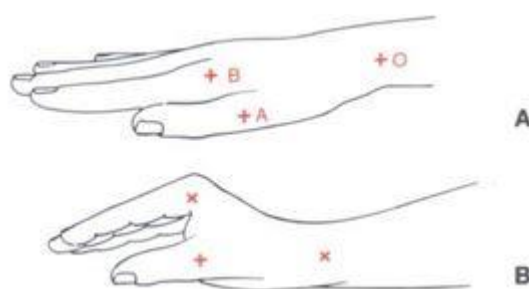


Figure 14 Les attitudes remarquées par Duchenne de Boulogne. (A) Attitude de repos, main plate, (B) attitude préhensile, main creuse.

(Blanc, 1994)

1. Le creusement de la paume

Le creusement de la paume s'effectue grâce à la possibilité de déformation en concavité palmaire des arches carpienne proximale et métacarpienne, sous l'action des muscles intrinsèques. Au niveau de l'arche carpienne proximale, les contractions des muscles thénariens et hypothénariens entraînent des mouvements de glissement entre les os du carpe, qui augmentent à leur tour la concavité de l'arche (ce qui aura pour effet de faciliter le glissement du système fléchisseur dans le canal). Au niveau de l'arche métacarpienne, les articulations carpo-métacarpiennes du premier métacarpien et des deux métacarpiens ulnaires (majoritairement le cinquième) permettent deux axes de mobilité. Plus le pouce s'oppose, plus la paume se creuse en arche. Cette organisation favorise l'adaptation de la paume aux différentes prises [30].

2. L'ouverture de la pince et l'écartement des doigts

L'ouverture de la pince constituée par le pouce et les doigts est permise par les trois longs muscles postérieurs innervés par le nerf radial et les muscles intrinsèques. Cela constitue une étape préliminaire à la prise et à la préhension d'objets volumineux.

3. Espace de préhension

L'espace de préhension est « *l'espace accessible pour une saisie grâce aux mouvements du membre supérieur accompagnés d'adaptations posturales (en particulier du tronc), mais sans déplacement global du corps, c'est-à-dire sans locomotion associée.* » [10]

Les outils habituellement utilisés par le sujet et ayant un caractère fonctionnel (notamment l'outil scripteur) sont incorporés au schéma corporel et sont assimilés à une *extension fonctionnelle du membre* [31]. Ainsi lors d'une action motrice, le système nerveux central (SNC) intègre l'outil dans le contrôle des mouvements.

II. Les étapes de la préhension

1. Le temps d'approche

Cette étape préliminaire est d'une grande complexité. Elle nécessite que l'objet et son usage soient connus, qu'il soit identifié comme accessible, « à portée de main », et que le sujet sache comment il doit être saisi.

1.1. Localisation visuelle de l'objet

Nous ne considérerons ici que l'approche à vue, basée sur une localisation visuelle de l'objet, qui est statique. En sachant qu'il existe aussi une approche par tâtonnement¹ et une approche sur ordre².

Dans l'approche à vue, l'appareil visuel fournit les informations nécessaires à :

- l'identification de l'objet, faisant appel aux expériences antérieures mémorisées,
- la localisation de l'objet, c'est-à-dire de la direction à prendre et de la distance main-objet à parcourir,
- l'évocation de son utilisation, déterminant le type de prise et les gestes adaptés à son utilisation,
- l'orientation du geste, nécessaires à la réussite de la prise.

A l'aide de l'imagerie cérébrale, il a été montré que la simple perception visuelle d'objets saisissables déclenche parfois l'activation de régions corticales, telles que le cortex prémoteur ventral et la région intrapariétale, responsables des mouvements de saisie [32].

1.2. L'approche

L'approche est l'étape du transport de la main vers l'objet repéré, par la voie la plus directe. Le point de travail du membre observant une trajectoire rectiligne ou harmonieusement courbe, parfaitement fluide [31].

Sa réalisation est assurée par des mouvements articulaires dans tout le membre supérieur et un ajustement postural permanent. Au début de cette étape, l'ouverture des doigts et le creusement de la paume ont lieu en même temps que le placement de l'articulation du

¹ En l'absence de contrôle visuel, l'approche s'effectue grâce au toucher.

² L'approche ici mobilise des données antérieurement mémorisées.

poignet afin d'anticiper la prise proprement dite. Les positionnements articulaires sont ensuite réadaptés, en fonction des informations visuelles recueillies, pendant toute la durée de cette phase.

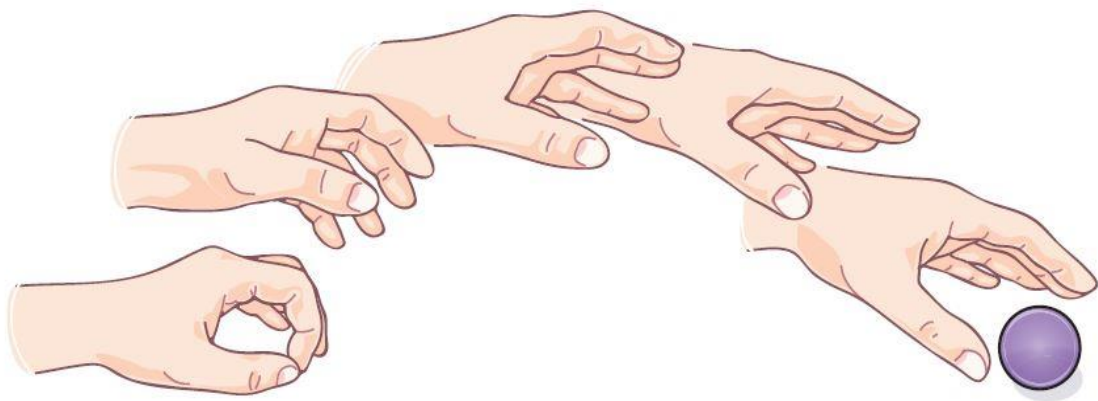


Figure 15 Chronophotographie d'une prise (Mazeau)

Préformation progressive de la main au cours du mouvement de transport de la main vers l'objet.

D'après Jeannerod M. Le cerveau volontaire. Paris : Odile Jacob ; 2009. p. 98. Par Carole Fumat.

Il existe une légère anticipation, de l'ordre de la quasi-simultanéité, dans le contrôle des ajustements posturaux ; ainsi, ils vont avoir lieu très peu de temps avant le mouvement effectif afin de permettre une adaptation à la perturbation que le mouvement va lui-même générer [33].

2. Le temps de solidarisation : la prise

La prise comporte trois stades [34]:

2.1. Un stade d'ouverture et de présentation de la main.

La présentation de la main doit s'effectuer dans les meilleures dispositions possibles, condition de l'assurance d'une prise optimale. Ce stade nécessite à la fois l'action des muscles extrinsèques de la main (muscles longs extenseurs) et des muscles intrinsèques afin d'ouvrir la main, à un degré variable, en fonction de l'objet considéré. De plus, comme nous l'avons évoqué précédemment, l'ajustement articulaire des doigts doit être coordonné avec celui des autres articulations du membre supérieur, avec pour finalité, le placement de la main au contact de l'objet. Le freinage terminal progressif permet d'assurer un contact doux main-objet. Ce dernier est réalisé grâce aux afférences sensorielles (vision, proprioception).

2.2. Un stade de fermeture des doigts pour la saisie de l'objet

Le placement du pouce et des doigts longs au contact de l'objet nécessite une adaptation à sa position, à sa forme, à sa taille, à sa texture, voire à sa température pour assurer la réalisation de la meilleure prise. Le sujet opère parallèlement un ajustement postural.

2.3. Un dernier stade de régulation de la force de la prise,

Ce stade s'opère grâce aux informations sensorielles perçues s'agissant des caractéristiques de l'objet (poids, matière, surface, fragilité), aux références antérieures mémorisées et à l'utilisation projetée, aux informations visuelles et aux informations kinesthésiques (feedback terminal). Les doigts adaptent leur force de serrage, en modulant la contraction des muscles agonistes et antagonistes, pour éviter l'échappement de l'objet et a contrario les excès de serrage.

3. Le temps d'exploitation

C'est le temps pendant lequel se réalise le projet (déplacement, action sur ou avec l'objet...) qui a initié la prise de l'objet. L'utilisation de l'objet surajoute des informations tactiles et kinesthésiques.

4. Le temps de lâchage de la prise : le dégagement

Lors de ce temps de lâchage de l'objet, le desserrage des doigts est réalisé par la décontraction progressive des fléchisseurs extrinsèques des doigts et l'ouverture de la prise par la contraction, simultanée et progressive, des extenseurs des doigts.

L'ouverture de la main est assurée par le nerf radial.

Ce temps termine la séquence.

Partie IV : Le geste (cognition motrice)

Le geste de la main de l'Homme est, avec le langage, une des caractéristiques de l'espèce humaine. C'est au travers de sa main, organe sensitivo-moteur, que l'Homme agit sur son monde, pour répondre à ses besoins mais aussi pour exprimer ses idées et communiquer avec autrui. La main qui effectue un geste est le reflet de l'activité consciente, réfléchie et volontaire. « *Tout geste, toute praxie est l'expression corporelle d'une conception mentale* » [34].

« *Le geste – ou l'action (enchaînement de gestes) – se définit non par les mouvements qui sont effectués, mais par l'intention de son auteur qui en décide l'exécution en fonction de son but, de sa finalité. Il s'en représente les effets (sur son environnement, sur l'autre, sur lui) et en contrôle la réalisation.* » [10]

Perfection praxique qu'après un apprentissage et un entraînement plus ou moins évident et astreignant gestes usuels ou gestes hautement spécialisés.)

Il existe deux composantes dans le geste, une composante cognitive (aspects préparatoire de l'action) et une composante neuromotrice (exécution de l'action) [10].

Chapitre I : Composante cognitive

I. Projet de geste ou intention préalable

Le projet de geste, ou intention préalable, est la partie consciente du processus. Le sujet exprime une intention d'agir, un projet de modifier son environnement. Le geste est motivé, il a une fin. Le sujet connaît et se représente les effets de son acte, le résultat poursuivi, mais aussi l'environnement et les usages de l'outil qui va être utilisé.

Cette phase est organisée dans les régions préfrontales, responsables des fonctions exécutives, elles-même connectées au système limbique et aux noyaux gris centraux qui gèrent l'aspect motivationnel de l'action.

1. L'intention motrice

Cette phase, non consciente, comporte deux étapes : d'abord la planification du geste puis, dans la continuité, sa programmation.

1.1. Planification du geste

Il existe deux types de planification selon si l'action à effectuer est automatisée ou non :

- lorsque *l'action n'est pas automatisée*, il y a nécessité d'élaborer son programme global. La planification consiste alors à *l'organisation temporelle* de l'action, c'est-à-dire la conception et l'agencement de différentes séquences motrices.
- lorsque *l'action est automatisée*, il y a une sélection et une activation de schémas déjà organisés, assemblés et stockés dans une mémoire procédurale, adéquats au contexte et au but recherché.

Cette phase repose sur les régions pré frontales et les ganglions de la base.

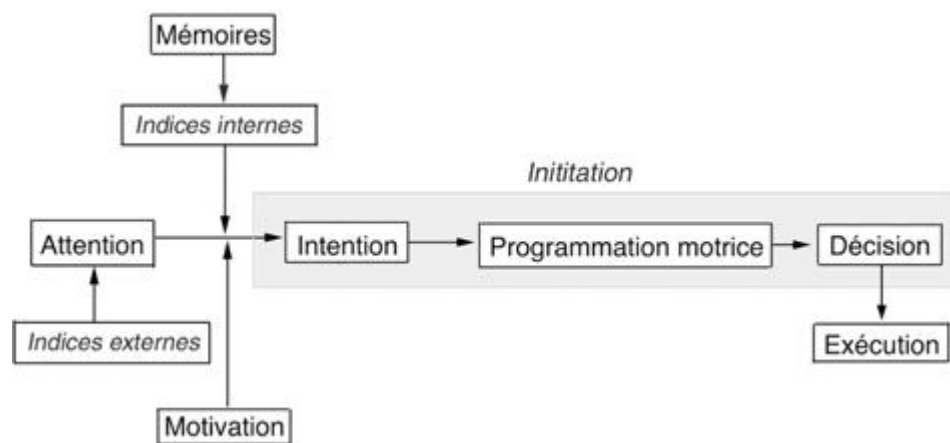


Figure 16 Planification action automatisée (Bioulac B. , 2005)

1.2. Programmation du geste

Cette phase est automatiquement activée dans la continuité. Elle intègre les buts fixés par l'intention préalable, le contexte corporel et environnemental et l'outil à utiliser.

Elle réalise une anticipation et une programmation de tous les paramètres nécessaires à l'exécution précise du geste sous forme de :

- calculs de la *distance* à parcourir, de la *direction* à prendre, de *l'amplitude* du mouvement, de sa *force* et de la *forme* à faire adopter à la main,
- programmation et coordination des déplacements corporels globaux ou de segments de membres,

- paramétrage des diverses contractions musculaires (agonistes/antagonistes) et des régulations du contrôle postural.

Cette programmation du geste est organisée par les réseaux prémoteurs et pariétaux, en lien avec les réseaux frontaux, les ganglions de la base et le cervelet. Puis il y a activation des régions prémotrices et motrices.

Cette phase préparatoire, cognitive, déclenche si la décision d'agir en est prise, la réalisation *coordonnée* dans le temps et l'espace de *mouvements* et d'*ajustements posturaux* concomitants qui permettent la réalisation effective de l'action, du geste, c'est-à-dire la phase neuromotrice (ou sensorimotrice).

Chapitre II : Composante neuromotrice

I. Exécution de l'action

1. Simulation anticipatrice

L'intention motrice induit une simulation de l'action (non consciente), appelée *simulation anticipatrice*. Un plan de l'action (copie de l'efférence motrice) est adressé à un système de comparateurs (cortex pariétal, ganglions de la base, cervelet...) qui permet une régulation proactive de l'action, de type feedforward, garantissant la réussite du geste attendu.

2. Réalisation effective de l'action

La réalisation effective du geste provoque des perceptions sensorielles kinesthésiques, captés par des récepteurs disséminés sur les systèmes en mouvement. Ces réafférences périphériques (rétrocontrôle ou feedback) renseignent le système nerveux central sur l'activité cinétique produite par nos membres, notre extrémité céphalique et notre tronc et le geste obtenu.

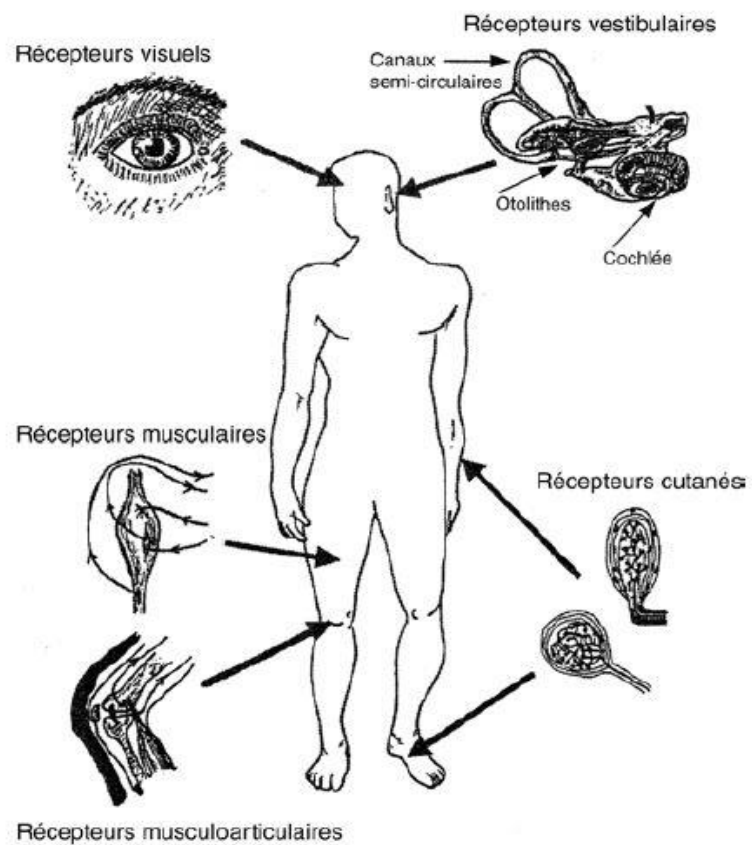


Figure 17 Récepteurs sensoriels impliqués dans la kinesthésie

(Berthoz, 1997)

En retour le système nerveux central met en œuvre d'éventuelles corrections et ajustements. C'est le mode de contrôle rétroactif.

Partie V : L'écriture manuscrite

L'écriture manuscrite est une tâche motrice qui requiert la production rapide de signes graphiques lisibles de petite taille, agencés dans un espace délimité par le support, au moyen de mouvements imprimés à un outil scripteur [35]. Elle nécessite donc à la fois vélocité et précision. C'est grâce aux articulations de l'épaule, du coude, du poignet et de la main que sont réalisés ces mouvements. La contribution relative des articulations dépend bien évidemment de l'amplitude de mouvements.

Chapitre I : Ecriture acte moteur, aspects de son organisation

I. Système effecteur et acte moteur

Les représentations graphiques significantes que sont l'écriture et le dessin partagent un système effecteur identique. Dans le cas de l'acte graphique, deux types d'articulations doivent opérer conjointement afin de réaliser les tracés. D'une part, les articulations proximales, l'épaule et le coude, qui sont mobilisées lors de la production d'une écriture de forte amplitude et qui sont responsables des mouvements de translation lentes et continues de la gauche vers la droite (déplacement sur une ligne, espacement entre les mots), du déplacement du haut vers le bas (espacement entre les lignes) et du retour à la ligne, dans le cadre de notre système d'écriture latine alphabétique. Ces mouvements assurant l'agencement des formes graphiques dans l'espace graphique, définissent les *composantes topocinétiques* de l'écriture. D'autre part, les articulations distales, le poignet, la main et les doigts, qui sont sollicitées lors du tracé des lettres de taille « normale », c'est-à-dire telle qu'attendue par le système scolaire. L'ensemble des trajectoires cursives qui déroulent dans

l'espace graphique les formes caractéristiques de chaque lettre sont nommées les *composantes morphocinétiques* [36].

« Apprendre à écrire, c'est à la fois acquérir un ensemble de morphocinèses [...] et un ensemble de topocinèses, variant selon les cultures et le système d'écriture. » [37]. Or, il existe un décalage dans le développement maturationnel de ces deux types d'articulations, expliqué par la loi de progression proximo-distale. Le développement maturationnel du contrôle des segments proximaux du corps, tels que le tronc et les épaules, intervient avant celui des segments distaux comme la main. Ce qui explique en grande partie les difficultés rencontrées par les jeunes enfants dans l'apprentissage de l'écriture de taille réduite.

1. Organisation de l'acte moteur

Smyth et Silvers (1987) [38] ont démontré que si le scripteur expert est privé des feedback visuels, il apparaît une désorganisation spatiale de ses mouvements, tandis que la production des lettres se maintient. Les composantes topocinétiques restent donc sur la dominance d'un mode de contrôle rétroactif alors que les composantes morphocinétiques évoluent d'un mode de contrôle rétro actif vers un mode pro actif. Elles sont dissociées et indépendantes dans leurs modes de contrôle moteur.

1.2. Dominance hémisphérique et latéralisation du geste

12.1. Dominance hémisphérique

Longtemps la notion de dominance hémisphérique s'imposa, suite notamment aux résultats d'études anatomo-cliniques menées, c'est-à-dire la mise en relation d'une lésion cérébrale et de ses conséquences. Broca (1861,1865) notamment, conclut ses travaux en affirmant l'existence d'une différence fonctionnelle entre les deux hémisphères cérébraux, avec une dominance de l'hémisphère gauche pour l'exercice des fonctions supérieures.

Puis vint se substituer le concept de *spécialisation hémisphérique* avec la découverte d'un rôle prépondérant de l'hémisphère droit dans la connaissance du corps et de l'espace. Dans

les années 1950, il fut ensuite prouvé que les deux hémisphères du cerveau humain ne fonctionnaient pas de façon autonome. Les deux régions analogues des deux hémisphères reçoivent les mêmes données et les traitent de façon complémentaire. C'est ainsi que les *gestes volontaires* et *l'utilisation intentionnelle des outils* sont gérés par le cortex pariétal gauche, et la *manipulation automatique des objets* est contrôlée par les régions homologues du cortex pariétal droit [39]. Le corps calleux, faisceau de fibres commissurales, reliant les deux hémisphères cérébraux, a pour fonction de coordonner les informations présentes dans les aires homologues des deux hémisphères [40].

1.2.2 Latéralisation du geste

Une des caractéristiques majeures de l'espèce humaine est la latéralisation des fonctions. La latéralisation du langage et la préférence manuelle sont majoritairement commandées par l'hémisphère gauche. La préférence manuelle est définie comme le fait que « *pour l'usage habituel de ses mains à des fins praxiques, l'homme se sert préférentiellement d'une même main, la droite ou la gauche.* » [34]. Cette latéralité manuelle est le fruit d'une part, de mécanismes innés (prédispositions génétiques) et d'autre part, de facteurs environnementaux (influence du milieu social d'éducation). Pour faire l'apprentissage de l'écriture, l'enfant doit choisir une main graphique qui va tenir et guider l'outil, tandis que l'autre main stabilise la feuille et le corps [41] [42]. C'est généralement aux alentours de 7 ans que cette latéralité s'affirme chez les enfants. Un enfant peut faire preuve d'une « fausse latéralité », soit être un gaucher contrarié ou un faux gaucher (droitier contrarié) sous l'influence d'une prescription pédagogique, par imitation d'un membre de la famille ou par opposition.

Chapitre II : Acquisition de l'écriture manuscrite chez l'enfant

C'est au cours de sa scolarité que l'enfant effectue le long et complexe processus d'apprentissage de l'écriture manuscrite. L'acquisition de la capacité à produire des séquences de lettres est conditionnée par le développement de connaissances, d'aptitudes et de compétences à la fois dans le domaine linguistique (nom et son des lettres, connaissances orthographiques), dans le domaine visuo-spatial (méta/phonologie, forme des lettres, relations spatiales entre les traits, position des lettres sur la ligne et des lignes dans l'espace graphique) et dans le domaine sensitivo-moteur. Dans ce dernier domaine, il y a nécessité d'acquisition de capacités de programmation et d'exécution motrices permettant la tenue de l'outil scripteur, le contrôle postural, l'utilisation des points de stabilisation et la génération de trajectoires. L'ensemble de l'évolution de ces compétences se fera à un rythme différent selon les enfants.

I. De l'enfant pré-scripteur à l'enfant scripteur

« Avant d'aborder l'apprentissage formel de l'écriture manuscrite, l'enfant passe plusieurs années à expérimenter et à exercer ses capacités de production grapho-motrice au travers du gribouillage, du dessin et de la « pseudo écriture » [35].

1. Les premières traces graphiques

Les premières traces graphiques sont laissées par l'enfant dès l'âge de 18 mois. A l'aide d'un outil tenu à pleine main, de façon indifférenciée entre la main droite et la main gauche à ce stade, voire avec les deux mains simultanément, il opère des balayages, des ellipses, des formes plus ou moins arrondies, non fermées. Le contrôle moteur du tracé est uniquement proximal, les mouvements sont donc de forte amplitude. Le tracé n'est pas limité par l'espace graphique donné par la feuille mais par l'ampleur possible du geste de l'enfant.

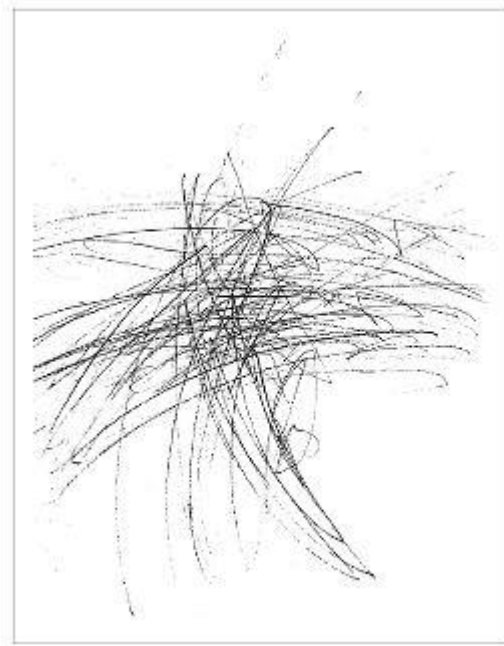


Figure 18 Gribouillages Fille de 17 mois

(Thoulon, 2015)

2. Apparition des premières formes (entre 2 et 3 ans)

L'enfant est capable désormais de contrôler le point de départ et le point d'arrivée de ces tracés ce qui lui permet de produire des formes isolées telles que des traits verticaux et horizontaux, des cercles plus ou moins arrondis et fermés, et d'amorcer des boucles (grâce à la rotation de la main autour du poignet). Il maîtrise désormais un des aspects topocinétiques qui est le respect des limites graphiques imposées par l'espace graphique. [43] [44].

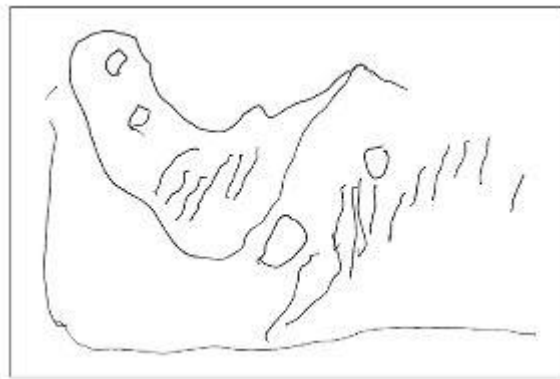


Figure 19 Dessins Enfant de 2 ans et 7 mois

(Thoulon, 2015)

Ces activités graphiques sont fondamentales puisqu'elles exercent l'enfant à un meilleur contrôle de ses gestes, dont l'amplitude se réduit. Les mouvements sont induits non plus exclusivement par les articulations proximales, mais aussi par les articulations distales, caractérisant une première forme de coordination entre ces deux types d'articulations.

Ces activités permettent aussi à l'enfant de développer une préhension plus fine, permise par une maturation du contrôle musculaire du pouce, ce qui entraîne au fur et à mesure une tenue de l'outil scripteur « *plus digitale* » [41]. Elles nécessitent de la part de l'enfant un ajustement dynamique de sa posture et de ses points d'appui (ancrage au sol, à la chaise et au plan d'écriture ou de dessin), avec nécessité de stabiliser son buste et sa tête, afin de libérer le bras et la main « dominants » [44].

3. Conscience de la forme (entre 3 et 5 ans)

L'enfant atteint le niveau nommé représentationnel. Il devient apte à produire une forme identifiable, constituée de traits parallèles, de croix, de cycloïdes, de spirales, d'arabesques. L'émergence de ces primitives graphiques, composantes morphocinétiques, constitue la base des éléments des futures lettres. L'enfant devient capable de fragmenter sa production, il investit de mieux en mieux l'espace graphique ce qui prouve que de même, l'organisation topocinétique progresse [45]. La voie procédurale spécifique au dessin guide encore toutes les activités graphiques. L'émergence de la différenciation des deux systèmes

de production graphique dessin/écriture s'opère entre 3 et 5 ans selon les enfants. Petit à petit, une inhibition de la procédure graphique du dessin va se mettre en place. Elle diminuera avec l'âge et l'exercice régulier de l'écriture.

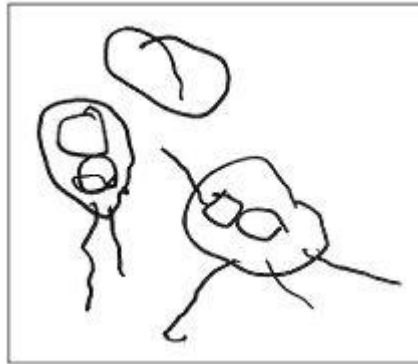


Figure 20 Bonhommes "tétards"

(Thoulon, 2015)

4. Vers la lettre (entre 5 et 6 ans)

Cet apprentissage se poursuit par la mise en place d'une pseudo-écriture où l'enfant commence véritablement son initiation à l'écriture. Les premières lettres, proche de la norme adulte, sont reproduites (notamment lors de la copie en lettres-bâton de son prénom) mais encore dessinées. En effet, aux environs de cinq ans, il persiste encore une confusion entre écriture et dessin. A ce stade, les enfants n'ont pas encore acquis les représentations visuelles et motrices des lettres, il y a donc dominance d'un mode de contrôle rétroactif, avec utilisation des feedbacks sensoriels (feedbacks visuels et kinesthésiques). Puis petit à petit, l'enfant parvient à combiner les mouvements de ses doigts, de sa main, de son poignet et de son coude. La tenue de l'outil devient plus précise, en général tridigitale, ce qui permet de réguler l'appui sur le plan d'écriture.

5. Différenciation du système figuratif et du système non figuratif (à partir de 6 ans)

C'est à l'âge clé de six ans, sous l'effet de l'apprentissage institutionnalisé et grâce à la maturation progressive du système moteur, que l'écriture amorce son long chemin vers l'automatisation. Les deux systèmes de représentation graphique, le graphisme figuratif et le graphisme non figuratif sont, à ce stade, clairement différenciés. Il existe une procédure d'action spécifique à l'écriture. Les gestes graphiques d'écriture deviendront graduellement plus fluides et plus rapides que les gestes graphiques pour dessiner.

II. Le développement de l'écriture

Julian de Ajuriaguerra définit l'écriture manuscrite comme « *un ensemble de signes symboliques qui possède un sens établi à l'avance par une communauté sociale et à son usage. Elle permet un modèle d'échange, c'est un moyen de transmission et de communication au sein propre du groupe. Après son apprentissage, puis sa maîtrise, elle devient rapidement une manière personnelle de tracer les lettres. C'est une image de soi que l'on se renvoie à soi-même et que l'on donne à voir au regard de l'autre* ».

Selon ce même auteur, le développement de l'écriture s'effectue selon trois grands stades : le stade pré-calligraphique, le stade calligraphique et le stade post-calligraphique. L'évolution de l'ensemble des dimensions des différents stades vers l'acquisition de l'écriture mature se réalise le plus souvent de façon asynchrone. Il n'y a pas de modification linéaire possible. Il peut donc y avoir un progrès dans certaines dimensions et pas dans d'autres.

1. Stade pré-calligraphique (de 6-7 ans à 8-9 ans)

Ce stade s'étend du véritable début de l'apprentissage de l'écriture, à l'entrée en CP de l'enfant jusqu'au CM1. L'enfant va faire l'acquisition des représentations visuelles et motrices des lettres. La tenue de l'outil scripteur en trépied dynamique est généralement acquise. À cette période, l'attention de l'enfant est mobilisée sur l'apprentissage des aspects techniques de l'écriture cursive (guidage du crayon pour la formation des lettres et des liaisons). Il observe un contrôle moteur rétroactif de sa production graphique par des feedback visuels, directs et continus, et des feedback kinesthésiques. Les tracés, encore incertains, vacillants, en lien avec un développement moteur encore insuffisant, ne respectent pas les exigences du modèle calligraphique [41].

2. Stade calligraphique (de 8-9 ans à 12 ans)

Grâce à une pratique assidue, l'enfant maîtrise le geste graphique et n'observe plus de difficultés liées à la tenue et au guidage de l'outil. L'écriture est régulière et rapide. Les lettres sont correctement formées, les modes de liaisons acquis, les lignes d'écriture sont droites ce qui confère une bonne lisibilité. Le passage par ce stade est fondamental, il constitue la « compétence socle » par laquelle l'écriture pourra se développer favorablement. C'est aussi à ce stade que s'opère la transition d'une stratégie de production rétroactive à une stratégie pro active dominante. Les processus perceptivo-moteurs de planification, programmation et exécution du geste graphique sont maîtrisés. Ils permettent le déploiement d'une écriture automatisée, à partir de l'âge de 10 ans.

3. Stade post calligraphique (à partir de 12 ans)

L'équilibre atteint au stade calligraphique subit des influences dans le stade post-calligraphique qui vont modifier considérablement la structure de l'écriture. D'une part, avec l'entrée au collège, les prises de notes s'intensifient avec une exigence de vitesse accrue. D'autre part, l'individu s'approprie son écriture, la personnalise, lui donne une identité propre. Julian Ajuriaguerra nomme cette phase « *crise de l'écriture* » ou de « *temps des*

personnalisations » qui mène à terme, à une écriture mature. L'adulte devra trouver le meilleur compromis entre les exigences de lisibilité, de rapidité et de stylisation.

Le bras utilisé pour écrire doit avoir une force suffisante. L'épaule doit être à même de soutenir le bras et de pivoter autour du coude. Le poignet, à la fois ferme et souple, doit maintenir la stabilité de la main, tandis que les doigts tiennent le crayon avec suffisamment de force pour qu'il soit à la fois « fixé » et mobile, permettant ainsi les mouvements d'inscription. Le jeu des articulations et des différents groupes musculaires du bras permet la coordination des mouvements nécessaires à l'écriture, en fonction de la force musculaire utilisée. Ils doivent être freinés ou stoppés à volonté pour permettre le jeu des liaisons entre certaines lettres ou des intervalles entre les mots.

III. Evolution de la tenue de l'outil scripteur chez l'enfant

L'enfant emploie une prise digito-palmaire aux alentours de la fin de sa première année de vie. Puis son développement moteur, notamment l'acquisition de la maîtrise d'une motricité fine, va permettre une évolution de la prise qui va progressivement s'affiner pour amener à une prise mature de l'outil scripteur. La définition retrouvée dans les prescriptions des gouvernances est la suivante : *« La tenue adaptée peut être décrite ainsi : le crayon est bloqué entre le pouce et la première phalange du majeur, l'index reposant sur le corps du crayon. Cette tenue présente l'avantage de libérer les phalanges pour le tracé des lettres cursives et de réduire les efforts musculaires. »* (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche, 2015. Cf. annexe 2).

IV. Posture du scripteur

Dans l'apprentissage de l'écriture chez l'enfant, il existe une évolution de la posture avec un redressement progressif de la tête et du tronc, et une diminution de l'appui du tronc, de l'avant-bras et du poignet sur la table [46]. En effet l'enfant au début de sa pratique a besoin d'un fort contrôle visuel de sa production et de stabiliser ses articulations, pour assurer une meilleure maîtrise de ses gestes. Petit à petit, l'enfant parvient à rester immobile, avec une position tonique érigée du tronc : les pieds au sol, les fesses stables au milieu de la chaise, le dos droit avec les épaules basses, à la même hauteur l'une et l'autre, les bras sur la table, la tête à bonne distance de la feuille.

Le bras utilisé pour écrire doit avoir une force suffisante. L'épaule doit être à même de soutenir le bras et de pivoter autour du coude. Le poignet, à la fois ferme et souple, doit maintenir la stabilité de la main, tandis que les doigts tiennent le crayon avec suffisamment de force pour qu'il soit à la fois « fixé » et mobile, permettant ainsi les mouvements d'inscription. Le jeu des articulations et des différents groupes musculaires du bras permet la coordination des mouvements nécessaires à l'écriture, en fonction de la force musculaire utilisée. Ils doivent être freinés ou stoppés à volonté pour permettre le jeu des liaisons entre certaines lettres ou des intervalles entre les mots.



Figure 21 Posture de l'enfant script

Chapitre III : Ecriture mature

I. Tenue mature de l'outil scripteur

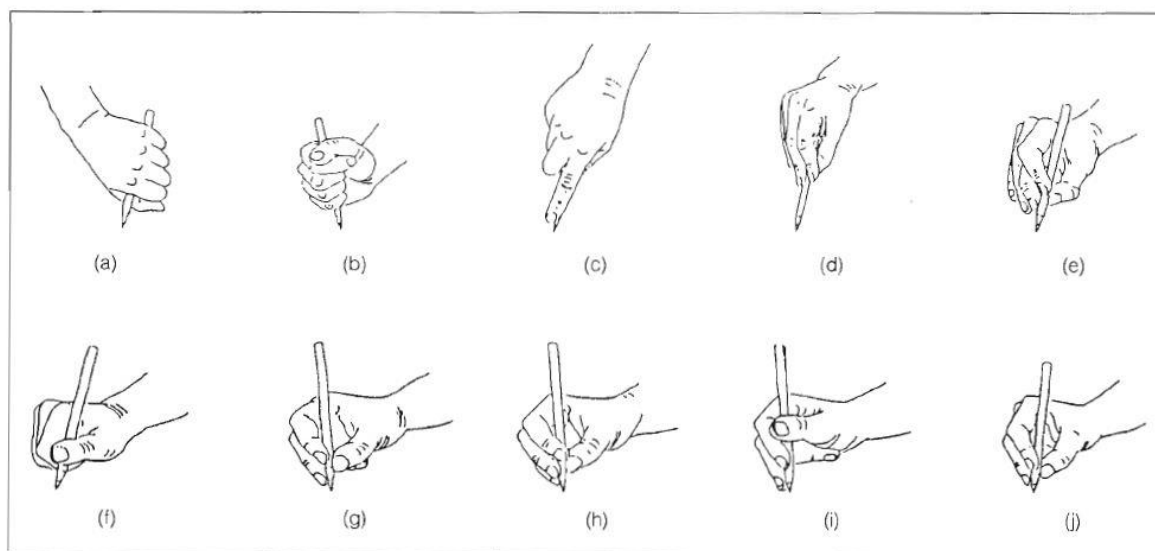


Figure 1. Operational definitions of grip posture in developmental order: (a) radial cross palmar grasp (Morrison, 1978); (b) palmar supinate grasp (Erhardt, 1984); (c) digital pronate grasp, only index finger extended (Morrison, 1984); (d) brush grasp; (e) grasp with extended fingers; (f) cross thumb grasp (Gesell, 1940); (g) static tripod grasp (Rosenbloom & Horton, 1971); (h) four fingers grasp; (i) lateral tripod grasp (Schneck, 1987); (j) dynamic tripod grasp (Rosenbloom & Horton, 1971).

Figure 22 Evolution de la tenue de l'outil scripteur de l'enfance jusqu'à l'âge adulte

(Schneck, Henderson 1990)

1. La prise tripode

Il existe une infinité de possibilités de tenue de l'outil scripteur mais la plus répandue chez l'enfant et chez l'adulte est la prise tripode [47].

Dans cette prise, le pouce et l'index forment une pince (bec de canard) à environ 1,5-2 cm de la pointe et mobilisent l'outil scripteur, afin de former des lettres. L'outil scripteur repose en regard de la face latérale de phalange distale du médus et dans la première commissure et se positionne dans l'axe du radius. La main repose avec légèreté sur son bord ulnaire,

l'annulaire et l'auriculaire sont repliés et jouant un rôle de suspension à l'arche longitudinale de la main. La tenue de l'outil scripteur est ferme, sans entraver la mobilité nécessaire à la production graphique. Le poignet se trouve en position d'extension, l'avant-bras en position de semi-pronation.

La tenue mature de l'outil scripteur est caractérisée par la possibilité qu'elle donne aux articulations distales d'initier majoritairement les mouvements nécessaires à l'activité graphique.

Il existe deux types de prise tripode, la prise tripode statique et la prise tripode dynamique.

1.1. La prise tripode statique

Dans l'acte d'écriture avec une prise tripode statique, les mouvements nécessaires aux composantes morphocinétiques sont majoritairement induits par les articulations des doigts et de la main, mais aussi par les complexes articulaires du poignet, du coude et de l'épaule. Les doigts assurent une stabilisation de l'instrument scripteur.

1.2. La prise tripode dynamique

La prise tripode dynamique n'implique elle, pour la formation des lettres, que des mouvements simultanés de flexion et d'extension des doigts, initiés par les muscles intrinsèques de la main [48]. Christopher Berkeley WYNN PARRY fut le premier à employer le terme de « *dynamic tripod grip* » (prise tripode dynamique ou trépied dynamique) dans son ouvrage « *Rehabilitation on the hand* » (1966).

[49]

Discussion

L'usage du numérique s'est établi progressivement dans notre société pour la lecture et l'écriture, même chez les enfants. Les claviers se mêlent aux stylos, les tablettes au support papier, les livres électroniques aux livres papier. Ces supports numériques ont d'ailleurs été introduits en milieu scolaire selon les prescriptions des gouvernances. Cela a conduit des chercheurs en sciences cognitives à s'interroger sur l'intérêt de poursuivre l'apprentissage de l'écriture manuscrite malgré la persistance d'un usage constant dans la vie adulte, au travail et dans la vie quotidienne. Certaines études ont démontré le lien entre l'apprentissage de l'écriture manuscrite et celui de la lecture. En effet, le fondement de la lecture est la capacité à identifier des traits, qui doivent être mis en relation pour parvenir à une représentation visuelle de chaque lettre présente dans le mot lu. Longcamp, Lagarrigue, & Velay (2010) ont prouvé, au travers de leurs expériences, que cette représentation ne serait pas uniquement gérée au niveau du cortex occipito-temporal gauche (gyrus fusiforme), par la Visual Word Form Area (VWFA), mais plus largement sur la base d'un réseau plurimodal dont l'une des composantes serait de nature sensorimotrice. L'enfant faisant conjointement l'apprentissage des mouvements d'écriture et l'apprentissage de la forme visuelles des lettres, mobiliserait ensuite une forme de mémoire liée à l'écriture des caractères, au moment de leur reconnaissance visuelle. La mémoire motrice, qui est plus stable dans le temps, pourrait suppléer la mémoire visuelle, qui serait prédominante à court terme. Ainsi apprendre à écrire des lettres manuellement permet aux enfants une meilleure reconnaissance de ces lettres, que lorsque l'apprentissage se fait en tapant sur un clavier. L'apprentissage de l'écriture au clavier ralentit l'acquisition de l'identification des mots écrits, ce qui n'est pas sans conséquence sur la compréhension. Il existe donc une corrélation très étroite entre lire et écrire.

Des études menées, par explorations cérébrales à l'aide d'Imageries par Résonnance Magnétique (IRM), chez des adultes ont montré, que la simple vision passive des lettres active une aire pré-motrice dans l'hémisphère contralatéral au côté de la main habituellement utilisée pour l'acte d'écriture [50] [51]. Le fait qu'une aire pré-motrice s'active alors qu'aucun mouvement n'est effectué suggère que la représentation cérébrale

des caractères inclues une composante sensori-motrice liée aux mouvements d'écriture. La cognition est donc « incarnée », « enracinée » dans des représentations modales. Les capacités de traitement sensoriel et de contrôle moteur d'un organisme et les interactions entre cet organisme et l'environnement détermineraient donc la nature des capacités cognitives [52].

« La motricité ne serait plus une étape périphérique du traitement de l'information, avec les entrées sensorielles qui l'accompagnent, elle serait le substrat à partir duquel la cognition se construirait. » [50].

Enfin dans le cas d'une trace dynamique (traitement de texte), il est probable que le scripteur, face à la modification spatiale fréquente des mots, soit amené à opérer des procédures de relectures plus longues et fréquentes pour maintenir temporairement les éléments du texte, à défaut de pouvoir construire une représentation visuo-spatiale stable en mémoire à long terme ou en mémoire épisodique. Par contre dans le cas d'une trace statique, le rédacteur mémorise de façon implicite la position des mots sur la page. Cette représentation visuo-spatiale, permet de localiser rapidement et efficacement des informations dans le texte [53].

Conclusion

Avec le développement technologique, l'écriture est une activité humaine complexe qui implique l'utilisation, par le scripteur, d'outils aujourd'hui variés (papier-crayon, papier-stylo, écran-clavier-souris, tablette-doigt-stylet), produisant une trace qu'un lecteur sera apte à déchiffrer. Nous avons observé qu'il était capital de maintenir et d'améliorer la qualité l'apprentissage de l'écriture manuscrite dans les programmes scolaires. Mais nous pourrions-nous interroger dès lors sur quel outil scripteur utilisé? Les pratiques de l'écriture changent encore considérablement et rapidement. Récemment le stylet numérique et la tablette ont fait leur apparition dans les institutions scolaires et modifie à nouveau les conditions d'écriture.

L'impact que ces nouveaux outils et supports auront sur la pratique de l'écriture et de la lecture, bien que difficile à anticiper, mérite d'être réfléchi et, si possible, étudié expérimentalement. C'est là sans doute un des enjeux des neurosciences pour l'éducation.

Bibliographie

- [1] Coppens Y. Les derniers préhumains et les premiers humains. C. R. Palevol. 2016.
- [2] Monod J. Le hasard et la nécessité. Paris. Seuil. 1970.
- [3] Vialou D. L'image du sens, en préhistoire. L'Anthropologi. 2009 ; pp. 464-477.
- [4] Pelegrin J. Roche H. L'humanisation au prisme des pierres taillées. PALEVO-930. 2016.
- [5] Keller O. Eléments pour une préhistoire de la géométrie. L'Anthropologie 105 . 2001 ; pp. 327-349.
- [6] Hameau P. Le geste et la forme dans l'expression graphique du Néolithique. L'Anthropologie. 2011.
- [7] Berthier A. D'où viennent les signes d'écriture? Dossiers d'archéologie. 2001, Février ; pp. 2-5.
- [8] Christin A. De l'espace iconique à l'écriture. L'Anthropologie 105. 2001 ; pp. 627-636.
- [9] Menu M. L'analyse de l'Art Préhistorique. L'anthropologie. 2009 ; pp. 547-558.
- [10] Mazeau C. Le geste: aspects normaux et troubles développementaux. Dans M. Mazeau, Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant. 2014.
- [11] Thomine J. La peau de la main. Dans R. Tubiana, Traité de chirurgie de la main. 1980 ; pp. 142-148. Paris: Masson.
- [12] Della Volpe C, Andrac L, Casanova D, Legré R, & Magalon G. La diversité de la peau : étude histologique de 140 résidus cutanés, adaptée à la chirurgie plastique. Annales de chirurgie plastique esthétique 57. 2012 ; pp. 423-449.
- [13] Cleland F. On the cutaneous ligaments of the phalanges. British Journal of Plastic Surgery 48. 1995; pp. 106-107.
- [14] Guimberteau J. Faire peau neuve. Annales de chirurgie plastique esthétique 55. 2010 ; pp. 255-266.
- [15] Grayson J. The cutaneous ligaments of the digits. British Journal of Plastic Surgery 48. 1995 ; pp. 108-109.
- [16] Tubiana R. L'architecture et les fonctions de la main. Traité de chirurgie de la main. Raoul Tubiana. 1980 ; p. 57. Paris: Masson.
- [17] Rabischong, P. Physiologie de la sensation. Dans R. Tubiana, Traité de Chirurgie de la Main Tome 1. 1980 ; pp. 464-471. Paris: Masson.

- [18] Kapandji A. La préhension dans la main humaine. Annales Chirurgie de la Main, 1989 ; 8, n ° 3, 234-241.
- [19] Orset G. La rotation axiale longitudinale des phalanges. Dans M. Boutan, D. Thomas, S. Célérier, V. Casoli, & F. Moutet, Rééducation de la main et du poignet. Anatomie fonctionnelle et techniques. 2013 ; pp. 52-54. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- [20] Tubiana R. L'architecture et les fonctions de la main. Dans R. Tubiana, Traité de chirurgie de la main . 1980 ; p. 64. Paris: Masson.
- [21] Boutan M. & Casoli V. (s.d.). Mains et Préhensions. Sauramps Médical. 2005.
- [22] Rongièrès M. Anatomie et physiologie de l'articulation trapézo-métacarpienne humaine. Chirurgie de la main 23. 2004 ; pp. 263-269.
- [23] Kuhlmann J. Importance du complexe ligamentaire postéromédial. Chirurgie de la Main 20. 2001 ; pp. 31-47.
- [24] Boutan M. Casoli V. Giot J. Madert V. & Rouvillois A. Anatomie musculaire et stratégies motrices du poignet et de la main. 2013 ; pp. 35-37. Paris: Elsevier Masson.
- [25] Malek R. Préhension et gestes, chapitre 3, 1980 ; pp. 492-493. Traité de chirurgie de la main, tome 1 Raoul Tubiana. 1980 ; Paris. Masson.
- [26] Boutan M. & Casoli V. (s.d.). Mains et Préhensions. pp : 82-85. Sauramps Médical. 2005.
- [27] Napier J.-R. The prehensile movements of the human hand. J Bone Joint Surg 1956 ; 38 B, pp. 902-913.
- [28] Caffinière J. & Simmons B. Physiologie de la flexion des doigts. 1980. Paris: Masson.
- [29] Blanc Y. Comportement moteur du membre supérieur. 1994. Elsevier Masson.
- [30] Dubousset J. Les phénomènes de rotation lors de la prise au niveau des doigts. Traité de chirurgie de la main, tome 1. Raoul Tubiana. 1980 ; pp. 238-242. Paris: Masson.
- [31] Jacobs S. Hanneton S. & Roby-Brami A. Aspects neurophysiologiques et neuropsychologiques de l'utilisation d'outils. Presses Universitaires du Septentrion, pp. 143-160, 2005, psychologie.
- [32] Martin A. The representation of object concepts in the brain. Annual Review of Psychology 58, 2007; pp. 25-45.
- [33] Bioulac B. Fonctions motrices. 2005. Elsevier Masson.
- [34] Thieffry T. Le geste de la main. Traité de chirurgie de la main, tome 1. Raoul Tubiana. 1980 ; pp 505. Paris : Masson.

- [35] Zesiger P. Deodonna T. & Mayor C. L'acquisition de l'écriture. *Enfance*, vol. 53, no. 3, 2000; pp. 295-304.
- [36] Paillard J. Les bases nerveuses du contrôle visuo-manuel de l'écriture. Dans C. Sirat, J. Irigoin, & E. Poulle, *L'écriture, le cerveau, l'oeil et la main* 1991 ; pp. 23-52. Paris: Brepols.
- [37] Chartrel E. & Vinter, A. L'écriture: une activité longue et complexe à acquérir. *ANAE* 78, 2004 ; pp. 174-180.
- [39] Smyths M. M. & Silver G. Functions of vision in the control of handwriting. *Acta Psychologica* 65. 1987; pp. 47-64.
- [39] Cambier J. L'alternance des hémisphères, une affaire de présence au monde et un fruit de l'évolution. *Pratique Neurologique*. 2016, 07 ; pp. 250-255.
- [40] Braun M. Tonnele R. Tyvaert, I. & Hossu J. Le corps calleux. Principale commissure interhémisphérique. *Pratique Neurologique*. 2015, Juin ; pp. 139-142.
- [41] Thoulon C. *La rééducation de l'écriture*. 2015. Paris: Elsevier.
- [42] Clenet M. Le graphisme. *Revue francophone d'orthoptie*. 2012, Mai.
- [43] Noyer-Martin M. Devichi C. Influence des caractéristiques physiques du référent sur l'écriture de l'enfant pré-scripteur. *Psychologie*. 2004.
- [44] Freeman N. H. Motricité de dessin et motricité d'écriture. *Enfance*, 2005, 01 ; pp. 5-10.
- [45] Lurçat L. *Etude de l'acte graphique*. 1974. Mouton. Paris.
- [46] De Ajuriaguerra J. A. *L'écriture de l'enfant. L'évolution de l'écriture et ses difficultés*. 1971. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- [47] Schneck C. M. Henderson A. Descriptive analysis of the developmental progression of grip position for pencil and crayon control in nondysfunctional children. *The American Journal of Occupational Therapy*, 1990; pp. 893.
- [48] De Almeida P. Cruz D. Magna L. & Ferrigno I. An electromyographic analysis of two handwriting grasp patterns. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23 , 2013 ; pp. 838-843.
- [49] Wynn-Parry C.B. *Rehabilitation of the hand* (2nd edition). 1966.
- [50] Longcamp M. Lagarrigue A. & Velay J.-L. Contribution de la motricité graphique à la reconnaissance visuelle des lettres. *Psychologie française* 55. 2010 ; pp. 181-194.
- [51] Longcamp M. Anton J.-L. Roth M. & Velay J.-L. Visual presentation of single letters activates a premotor area involved in writing. *NeuroImage* 19 2003; pp. 1492-1500.
- [52] Barsalou L. W. Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.* 2008.59:617–45.

[53] Le Bigot N. Passerault J.-M. Olive T. Le souvenir de la localisation des mots d'un texte. L'année psychologique, 110, 2010 ; pp. 321-346

Annexe 1

L'évolution de l'outil scripteur

Dans l'Antiquité, les peuples écrivaient avec des **calames** réalisés au moyen d'une tige de roseau dont la pointe était affûtée à l'aide d'un couteau spécial (scalprum librarium), à lame étroite et pointue. L'écriture s'effectuait en gravant sur de la cire ou à l'encre noire ou rouge sur papyrus, parchemin ou tablette en bois, avec un caractère plus définitif.

Le **stylet métallique** permettait de venir « griffer » une fine couche de cire noircie à la suie, étalée sur une tablette rectangulaire légèrement concave, constituée de bois, d'os ou d'ivoire. Il était possible d'appliquer des corrections aux écrits formulés et la tablette présentait la caractéristique d'être réutilisable.

Les scribes égyptiens utilisaient des **pinceaux** constitués d'un morceau de jonc fibreux dont l'extrémité était écrasée ou mâchonnée puis trempée dans de l'encre.

Les calligraphes chinois employèrent, à partir de l'an 250 avant J.-C., des pinceaux confectionnés à partir de poils d'animaux pour écrire sur de la soie.

La **plume d'oie** fut utilisée dès le VI^e siècle, quand la surface douce du vélin commença à remplacer celle plus rugueuse du papyrus. Elle était taillée et trempée dans l'encre.

L'apparition de la **plume métallique** a précédé celle de la plume naturelle, mais son usage ne s'implanta véritablement qu'au milieu du XVIII^e siècle, en Angleterre, et se généralisa, en Europe, au XIX^e siècle. C'est vers 1860, sur l'exemple anglais, que les écoles françaises l'adoptèrent : la marque Blanzky s'imposa alors largement.

À la fin du XIX^e siècle, le **stylo à plume** est inventé : avec l'encre qui parvient à la plume en un flux continu.

Un américain, Henry Mill, a déposé un premier brevet dès 1714. Les premières **machines à écrire** étaient des modèles à cadran. Puis en 1833, un Français, Xavier Progin, inventa l'un des principes de base des machines actuelles : les touches. « The Writing Ball » fut la première machine à écrire commercialisée en 1870.

L'invention du **stylo à bille** moderne date de 1938. C'est un journaliste hongrois, José Ladislav Biro (1899 - 1985), qui a eu l'idée de doter des stylos d'une bille sertie avec une grande précision, sur une pointe en bronze et d'employer de l'encre à séchage rapide. Expatrié en Argentine, il dépose un brevet en 1943, qu'il cédera au français Marcel Bich. Ce dernier lance le produit avec un mode de production de masse. En 1965, le Bic entre dans les écoles françaises.

Les premiers **claviers** d'ordinateurs ont été mis au point au début des années 1960, sur le modèle des claviers de machines à écrire dont les utilisateurs en faisaient un usage régulier.

Le premier **écran tactile** a été développé au sein de l'Université de l'Illinois en 1972. C'est un périphérique cumulant les fonctions d'affichage d'un écran traditionnel et le pointage d'une souris.

Le premier modèle de **stylo à reconnaissance d'écriture manuscrite** fut produit pour la première fois en 2010, par une entreprise allemande. Un boîtier, qui fait office de capteur, permet d'enregistrer tout ce qui est rédigé grâce au stylo à reconnaissance manuscrite. Le contenu de l'enregistrement peut ensuite être transféré sur un ordinateur.



Annexe 2

Recommandations sur la tenue de l'outil scripteur



La tenue adaptée peut être décrite ainsi : le crayon est bloqué entre le pouce et la première phalange du majeur, l'index reposant sur le corps du crayon. Cette tenue présente l'avantage de libérer les phalanges pour le tracé des lettres cursives et de réduire les efforts musculaires. La crispation de certains enfants sur leur outil, peut être signe d'une hésitation ou d'une inquiétude liée à l'activité. Elle peut aussi traduire la difficulté de préhension d'un outil inadapté ou de mauvaise qualité.

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
Ressources maternelle - Graphisme et écriture
L'écriture à l'école maternelle
<http://eduscol.education.fr/ressources-maternelle>

Résumé

L'écriture est un mouvement parmi les plus complexes et les plus rapides de notre répertoire moteur. Elle requiert l'activité coordonnée de nombreux muscles et articulations du membre supérieur pour produire une succession de formes conventionnelles, les lettres, avec un outil scripteur, de manière suffisamment précise pour être reconnues. Ce travail a pour objectif de comprendre : 1) Comment l'espèce humaine a-t-elle fait l'acquisition de cette habileté motrice? 2) Comment est née l'écriture ? 3) Quelles structures anatomiques sous-tendent la prise et la préhension ? 4) Comment s'acquiert cette habileté motrice chez l'enfant ? 5) A l'ère du numérique est-il encore nécessaire de savoir écrire à la main ?

Mots clés : Outil scripteur ; Ecriture ; Grapho-motricité ; Préhension.