



UNIVERSITE PAUL SABATIER
FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL
INSTITUT DE FORMATION EN PSYCHOMOTRICITE

L'ECRITURE DU LYCEEN ET CAPACITE ATTENTIONNELLE : COMPARAISON QUANTITATIVE ET QUALITATIVE ENTRE UNE TÂCHE DE COPIE ET UNE TÂCHE DE REDACTION LIBRE.

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'état de psychomotricité.

PARTIE THEORIQUE

Introduction	6
I. LES MODELES COGNITIFS DES DIFFERENTS TYPES DE PRODUCTION ECRITE.....	8
1.1. La copie	8
1.1.1. L'analyse acoustique du mot.....	9
1.1.2. La mémoire tampon graphémique:	10
1.1.3. Le niveau allographique.....	10
1.1.4. Le niveau de patterns moteurs.....	10
1.2. La dictée	10
1.3. La prise de note	12
1.4. La rédaction de texte.....	12
1.4.1. Le modèle de HAYES et FLOWERS (1980)	13
1.4.2. Les dimensions visuo-spatiales	15
1.4.3. La cohérence de texte	16
II. LE ROLE ET FONCTIONNEMENT DE LA MEMOIRE DANS L'ECRITURE	17
2.1. La mémoire à long terme.....	17
2.2. La mémoire de travail.....	18
2.2.1. L'administrateur central.....	18
2.2.2. La boucle phonologique.....	18
2.2.3. Le calepin visuo-spatial.....	19
2.2.4. Le registre épisodique.....	19
2.3. Les apports des travaux de KELLOGG	20
2.3.1. Le modèle	20
2.3.2. Les demandes en ressources attentionnelles des processus rédactionnels.	21
2.4. La théorie capacitaire	21
2.4.1. Le point de départ.....	21
2.4.2. L'adaptation à la production écrite	22
III. LES MODALITES QUI PERMETTENT D'AMELIORER LA QUALITE D'UN TEXTE.	22
3.1. L'automatisation des processus de bas niveau	22
3.1.1. Automatisation des traitements grapho-moteurs	23
3.1.2. Automatisation des traitements orthographiques	24

3.2.	L'amélioration des performances des processus de haut niveau.....	25
3.2.1.	La planification.....	25
3.2.2.	La révision de texte.....	26
IV.	LA VITESSE D'ECRITURE	28
4.1.	Chez l'enfant	28
4.2.	Chez l'adulte	29

PARTIE PRATIQUE

I.	PRESENTATION DU TEST : LE BHK (BRAVE HANDWRITING KINDER)	31
1.1.	Origines et objectifs.....	31
1.2.	Les critères pris en compte lors de la correction du BHK ado.....	32
1.2.1.	Critère A : variation de hauteur des lettres troncs	32
1.2.2.	Critère B : hauteur relative des lettres troncs et des lettres avec hampe et /ou jambage.....	33
1.2.3.	Critère C : le télescopage	33
1.2.4.	Critère D : Lettres ambiguës	33
1.2.5.	Critère E : Lettre majuscule à l'intérieur des mots	34
1.2.6.	Critère F : Parallélisme des lignes.....	34
1.2.7.	Critère G : Stabilité des mots	35
1.2.8.	Critère H : Stabilité des « a »	35
1.2.9.	Critère I : Stabilité des « t ».....	35
1.3.	La vitesse	36
1.4.	Le matériel	36
II.	Le protocole de passation	36
2.1.	Les conditions de passation	37
2.1.1.	Les conditions.....	37
2.1.2.	La répartition et démarchage des lycées.....	37
2.2.	Consignes et passation	38
2.2.1.	LE BHK.....	38
2.2.2.	La rédaction de texte libre.....	39
III.	L'ANALYSE STATISTIQUE ET SES RESULTATS.....	40
3.1.	La variable dépendante : la vitesse d'écriture.....	40
3.2.	La variable dépendante : le sous total- total de la qualité d'écriture.....	43
3.3.	L'analyse statistique pour chaque critère.....	46

3.3.1. Critère A : variation de la hauteur des lettres troncs.....	46
3.3.2. Critère B : variance des lettres troncs et des lettres avec hampe et/ou jambage.....	46
3.3.3. Critère C : télescopage	47
3.3.4. Critère D : lettre ambiguë	48
3.3.5. Critère E : lettre majuscule à l'intérieur d'un mot	48
3.3.6. Critère F : parallélisme des lignes	49
IV. Discussion	50
4.1. La vitesse	50
4.2. La comparaison des tâches de copie et de rédaction.	50
4.3. Le facteur catégorie du lycée	51
4.4. La qualité	51
4.5. La différenciation sexuelle	52
Conclusion	54
ANNEXES	58
Annexe 1 : texte à recopier	58
Annexe 2 : Correction	59
Annexe 3 : fiche de résultat.....	60
Annexe 4 : cotation de la vitesse d'écriture	61
Annexe 5: autorisation parentale.....	62
Annexe 6: feuille de renseignements personnels	63

Introduction

L'importance de l'écriture est primordiale dans notre société. Scolairement, la prise des leçons et l'évaluation des connaissances s'appuient, majoritairement, sur cette modalité. De même, dans le monde professionnel, on demande aux employés des compétences de rédaction élevées tant au niveau quantitatif qu'au niveau qualitatif.

De plus, l'introduction de nouvelles technologies, comme les SMS, les e-mails ou les messageries instantanées, dans notre quotidien nous imposent de plus en plus à communiquer par écrit. C'est pourquoi, les difficultés d'apprentissage de l'écriture peuvent être source de gêne sociale pour l'individu.

L'accès et la performance de cette compétence nécessite une association lecture-écriture efficace. Même si ces deux compétences sont pour la majorité des auteurs deux systèmes différents, il est admis que l'un ne va pas sans l'autre. Ainsi, un bon apprentissage de la lecture permet une meilleure maîtrise de l'écriture, et une bonne acquisition de l'écriture favorise une lecture plus opérante.

L'écriture nécessite la mise en œuvre de plusieurs compétences psychomotrices (coordination oculo-manuelle, coordination de mouvement, tonus, organisation spatio-temporelle,...) ce qui fait du psychomotricien un spécialiste de la graphomotricité. Le professionnel possède des outils pour dépister les troubles de l'écriture (dysgraphie) de l'enfant et de l'adolescent mais pas pour les lycéens. Aucune évaluation standardisée n'est envisagée pour cette tranche d'âge, ni pour dépister les troubles de l'écriture ni même pour permettre la continuité des prises en charge après le collège. En effet, le BHK (test spécifique pour évaluer l'écriture) est étalonné pour les élèves jusqu'à la fin du collège (BHK ado 6^{ème} -3^{ème}).

De plus, peu d'études s'intéressent à ce sujet, et peu d'informations sont retrouvées sur l'évolution de l'écriture et sur la notion de trouble de l'écriture chez le lycéen. Celui-ci étant considéré par la plupart des auteurs comme un scripteur expert.

Suite à ces constats, je me suis demandée, si la poursuite de l'étude expérimentale de l'écriture dans les lycées pouvait nous apporter des résultats intéressants et exploitables quant à la qualité et la vitesse d'écriture chez le jeune lycéen scolarisé en France?

Ainsi, nous commencerons la partie théorique de ce mémoire en expliquant les différents modèles de l'écriture en fonction de ses types. Puis nous verrons l'importance de la mémoire et de l'automatisation des processus cognitifs dans l'écriture. En dernier point nous aborderons la vitesse de transcription chez le jeune adulte.

Dans une seconde partie pratique, je vous expliquerais les deux phases du protocole de l'étude, pour ensuite faire le point sur les résultats et les informations mis en évidence. En dernier, nous réfléchirons autour des données et de leur exploitation dans les prises en charge.

A. PARTIE THEORIQUE

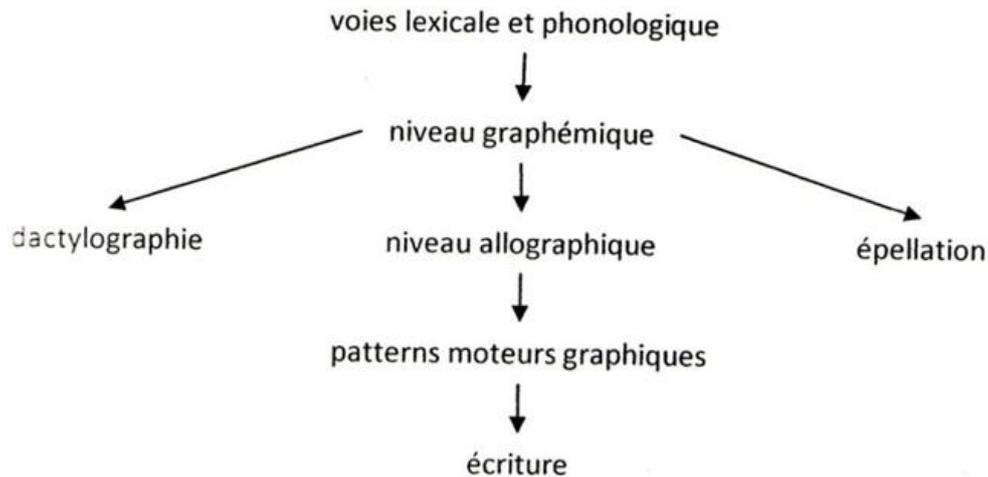
Le lycéen a été confronté à plusieurs types d'écriture au cours de sa scolarité : la copie, la dictée moins utilisée à partir d'un certain niveau pour favoriser l'apprentissage de prise de note, et la rédaction de texte où il est demandé à l'élève d'organiser ses idées pour transmettre des informations.

I. LES MODELES COGNITIFS DES DIFFERENTS TYPES DE PRODUCTION ECRITE

1.1. La copie

Dans la tâche de copie, le mot à copier est fourni au scripteur. Cet input est donc visuel et fournit une mémoire externe disponible à tout moment. De ce fait, l'écriture sous dictée semble être une tâche peu coûteuse pour le scripteur expert.

Par des processus de vocalisation interne, cet input visuel peut être un input auditif. Quand un élève lit le mot, il le décompose en graphème (la plus petite unité d'un mot) puis par un processus mental il convertit le phonème pour enfin le transcrire. C'est alors effectué une conversion graphème-phonème-graphème (M.PEREZ, H.GIRAUDO, & A.TRICOT, 2012). A partir du schéma ci-après, nous allons détailler les différentes étapes du modèle de la copie.



Modèle neuropsychologique de l'écriture selon ELLIS¹

1.1.1. L'analyse acoustique du mot

L'analyse acoustique du mot permet de définir la forme sonore du mot. Elle sera ensuite utilisée par chacune des deux voies suivantes :

- voie d'assemblage (= phonologique) :

Le phonème est transformé en graphème. Ce dernier sera ensuite assemblé à d'autres graphèmes. Cette procédure est utilisée, majoritairement, lors du début de l'apprentissage du langage écrit et lors de l'apprentissage de mots non connus ou pseudo-mot.

- la voie d'adressage (= lexicale) :

Cette voie est utilisée principalement pour les mots connus. Ces mots sont stockés en mémoire (lexique mental), il faut alors les récupérer. Le résultat de l'analyse acoustique active la représentation sémantique du mot. Dans un second temps, elle active sa représentation orthographique stockée dans un lexique spécifique. Il s'agit de la procédure principale pour le scripteur expert.

¹ ZESIGER, P. (1995). *Écrire: approche cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris: Presse Universitaire de France

1.1.2. La mémoire tampon graphémique:

La mémoire tampon graphémique contient des informations sur l'identité et la position des graphèmes. Cette mémoire de travail garde la trace du mot activé pendant le traitement des composants périphériques tels que le traitement visuel et les dimensions visuo-spatiales.

1.1.3. Le niveau allographique

L'allographe correspond aux « diverses variantes possibles d'un même graphème ». (ZESIGER, 1995 ; p.66). Cette sélection se fait selon trois niveaux :

- La forme de lettre c'est-à-dire minuscule majuscule.
- Le type d'écriture (par exemple script ou cursif).
- Le choix graphique propre à chacun d'écrire une lettre.

1.1.4. Le niveau de patterns moteurs

Le pattern moteur détermine le programme moteur spécifique à un allographe. Selon l'analyse du modèle d'ELLIS (1988), ce niveau de traitement détermine l'ensemble des données pour réaliser le geste graphique tels que le gabarit des lettres ou encore le nombre de traits.

Aussi, nombre de processus inhérents à l'acte de copie se retrouvent dans celui de la dictée.

1.2. La dictée

Au niveau cognitif, la dictée suit, donc, le modèle de la copie présenté précédemment. Pourtant, la tâche de dictée diffère par l'input initial qui est auditif.

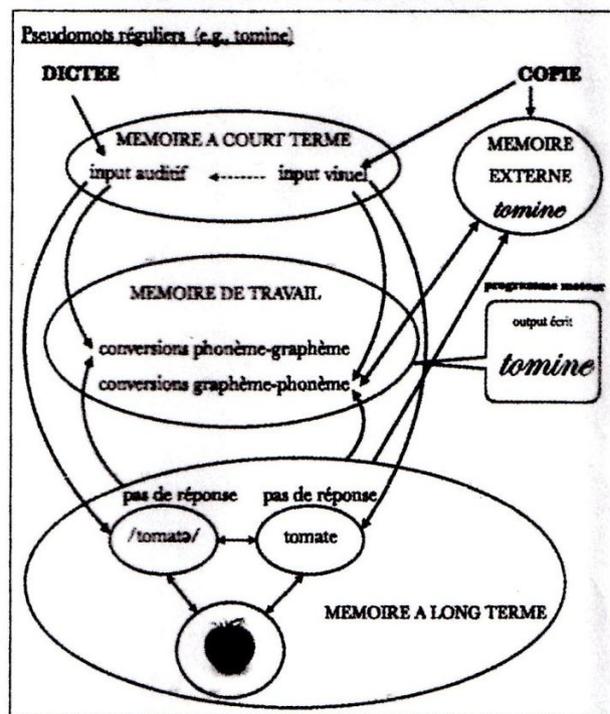
Dans le cas où le mot entendu est inconnu, la mémoire de travail permet une conversion phonème-graphème. Pour cela, la mémoire à court terme garde active

l'information, alors que la mémoire à long terme (lexique mental) sollicite l'ensemble des représentations proches du mot qui entrent en concurrence.

Lorsque le scripteur est expert, il ne sélectionne pas ces représentations. On parle alors d' « échec de la voie d'adressage ». En parallèle, la mémoire de travail continue, par l'intermédiaire de la voie d'assemblage, la conversion des phonèmes en graphèmes. Ensuite, l'ensemble des programmes est activé comme présenté ci-dessus lors de la tâche de copie (Cf.1.1.). (M.PEREZ, H.GIRAUDO, & A.TRICOT, 2012)

Nous voyons bien grâce au schéma ci-dessous que la tâche de dictée est un exercice plus complexe que la copie de par son input initial et l'absence d'utilisation de la mémoire externe (qui permet un feed-back direct).

Figure 1. Modélisation des processus cognitifs impliqués lors du traitement de pseudo-mots réguliers (e.g., *tomine*) en dictée et en copie.



(M.PEREZ, H.GIRAUDO, & A.TRICOT, 2012)

1.3. La prise de note

La prise de note, permet la saisie d'informations sélectives à partir de processus cognitifs similaires. Utilisée réellement à partir des études supérieures, cette modalité est intégrée au cursus pour familiariser les élèves à cette technique.

Il s'agit de se constituer une mémoire externe écrite exploitable à tout moment. L'individu organise et sélectionne les informations qui lui semblent pertinentes. Il utilise des stratégies et une structuration qui lui sont propres et fonctionnelles (plan, phrases ou morceaux de phrases, mots clés,...). En cela, la mémorisation suite à une prise de note est meilleure que l'écoute simple d'un discours (KIEWRA, 1985)².

La prise de note lors de l'écoute d'un cours demande un effort cognitif plus important que la prise de note lors d'une présentation visuelle d'un texte (J-Y ROUSSEY, 2003). En effet, il est plus difficile de gérer la compréhension des informations, la production des notes, et la cadence du discours oral. Le fait d'avoir un input visuel permet à l'individu de suivre l'enchaînement des idées et de revenir sur les informations immédiatement et le nombre de fois qu'il veut (de même que la copie).

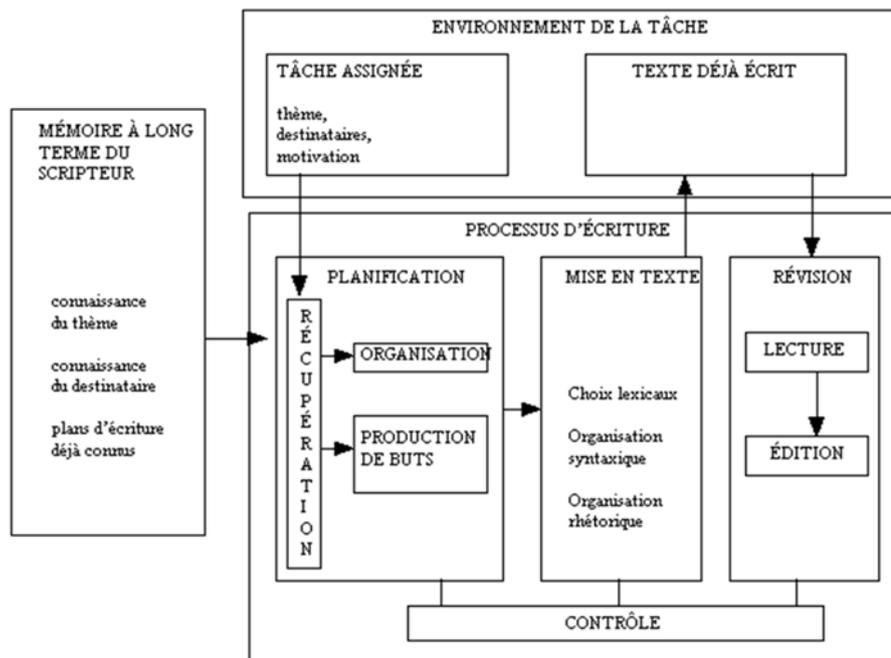
1.4. La rédaction de texte

Selon ALAMARGOT et CHANQUOY en 2001, la rédaction est une « activité de résolution de problème supposant la gestion simultanée d'un ensemble de contraintes liées à la situation communication (visée pragmatique), au contenu à transmettre (organisation du domaine), au code linguistique (maîtrise de la langue au niveau lexical, grammatical et textuel) et à l'exécution physique du message (maîtrise de la graphie, de l'outil de production)³. Cette définition, est à mettre en rapport avec le schéma du modèle de HAYES et FLOWERS (1980) ci-dessous.

²In J-Y ROUSSEY, A. P. (2003). Prendre des notes et apprendre. Effet du mode d'accès à l'information et de la méthode de prise de note. *Arobase*, pp. 47-68

³M.CHUY, & RONDELLI, F. (2010, mars). Traitement des contraintes linguistiques et cognitives dans la construction de la cohérence textuelle. *Langages*, pp. 57-82

1.4.1. Le modèle de HAYES et FLOWERS (1980)



Modèle de la production écrite de Hayes et Flowers 1980⁴

Ce modèle élaboré par HAYES et FLOWERS en 1980 est, à ce jour, la principale référence de la rédaction de texte et le point de départ de beaucoup de nouvelles recherches. Pour ces auteurs, la rédaction de texte est le résultat d'interactions entre la mémoire à long terme, l'environnement à la tâche et le processus d'écriture.

1.1.1.1. la mémoire à long terme

Il s'agit de l'instance où sont stockées les informations rhétoriques (types de texte), conceptuelles, situationnelles (relative au destinataire) et linguistiques (règles de grammaires, conjugaison,...). (cf. partie II : 2.1.)

⁴T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2005, mai). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française*, pp. 373-390.

1.1.1.2. L'environnement à la tâche

Il s'agit des éléments externes au rédacteur pouvant affecter le déroulement de la rédaction comme le destinataire (le style d'écriture n'est pas le même si le texte destiné à un ami ou à notre patron), le thème de la production (si on est familier au thème) ou encore des motivations de l'écrit à réaliser. Cette instance comporte aussi le texte déjà écrit sur lequel le rédacteur peut s'appuyer.

1.1.1.3. La production

Dans ce modèle, la rédaction de texte du scripteur expert est constituée de trois sous processus gérés par une instance de contrôle :

-la planification : dans ce processus, le rédacteur élabore au niveau conceptuel, un message préverbal correspondant aux idées qu'il veut transmettre. Cette étape est décomposée en trois parties : tout d'abord, le rédacteur récupère les informations nécessaires en mémoire à long terme, puis il les organise pour mettre en place un plan et enfin il élabore les buts liés à la production.

-la mise en texte (= traduction) : cet outil permet de transformer les informations préverbales en un message verbal puis en une production linguistique. Cette étape permet la sélection des unités lexicales, la construction des structures syntaxiques et des représentations orthographiques des mots.

-la révision : il s'agit d'un processus cognitif qui permet de réexaminer le texte déjà écrit ou en cours d'élaboration pour l'améliorer (détection des erreurs, violations des conventions d'écriture, inadéquations de sens, inadéquations par rapport aux buts que poursuit le rédacteur, etc.). Ce processus est décomposé en deux sous processus : la lecture puis l'édition.

Ces trois processus, que sont la planification, la mise en texte et la révision, fonctionneraient de manière interactive mais récursive, c'est-à-dire que chaque processus peut interrompre le fonctionnement de l'autre lors de sa mise en œuvre.

1.4.2. Les dimensions visuo-spatiales

La prise en compte des dimensions visuo-spatiales de l'écriture est très récente. Ce n'est qu'à partir des années 1984 (Bond et Hayes)⁵ que l'on intègre cette modalité dans les modèles. Selon Olive et al (2010), les aspects visuo-spatiaux peuvent se retrouver à quatre niveaux.

- au niveau de la stratégie utilisée par le scripteur lors de la rédaction de texte. Les productions manuscrites ayant fait l'objet de brouillons, au préalable, seraient de meilleure qualité que les productions directes. En effet, l'utilisation de brouillon permettrait d'établir un plan, d'organiser ses informations et de décomposer son texte en paragraphe. Ainsi, tous ces processus spatiaux permettraient de visualiser et d'accéder à une représentation conceptuelle du contenu du texte. Cette dernière favoriserait, selon D. Galbraith et al. (2005)⁶, la génération de nouvelles idées qui influencerait directement la qualité de la production écrite.

- Le contenu du texte. La nature du texte à produire telle que la description d'un bâtiment ou d'un place, implique le recours spécifique aux données visuo-spatiales. Une surcharge cognitive au niveau de ces données, influence directement le débit de production des rédacteurs de texte descriptif.

- Le texte déjà produit impose, également une contrainte d'origine visuo-spatiale. Le fait de visualiser le texte précédemment rédigé permet d'adapter et d'harmoniser le texte en cours (alignement des lignes, marge d'écriture,...). De même que le texte déjà produit fournirait une mémoire externe qui permettrait un feed-back direct des informations déjà exploitées.

- Le support implique la prise en compte d'un espace restreint et un aménagement de la production graphique. Selon Olive (2010), un support réduit impose une « tassement verticale de l'écriture » c'est-à-dire que le nombre moyen de lignes au centimètre est plus élevé que sur un support plus grand. La taille du support est à prendre en compte, dans les contraintes visuo-spatiales, de même que la nature du support (écran d'ordinateur).

⁵T.OLIVE, LEBRAVE, J.-L., PASSERAULT, J.-M., & BIGOT, N. L. (2010, mars). La dimension visuo-spatiale de la production de textes: approches de psychologie cognitive et critique génétique. *Langages*, pp. 29-55

⁶ ibidem

1.4.3. La cohérence de texte

La cohérence du texte est « l'unité communicative destinée à être interprétée et comprise par un destinataire » (M. Chuy et F. Rondelli)⁷. La cohérence textuelle est un système dynamique qui implique cinq niveaux de représentation.

- Dans le niveau de « communication », l'écrivain doit produire un message explicite qui met en perspective le but du texte.

- Le niveau de « type de texte » correspond à la catégorie du texte (descriptive, narrative,...) et à son organisation. Cette congruence est nécessaire pour permettre une bonne représentation mentale de l'unité du texte.

- Dans le niveau du « modèle de situation », le scripteur doit faire le tri entre les informations qu'il donne clairement et celles qu'il omet car elles peuvent être inférées directement par le destinataire. Celui-ci établit un lien entre les propositions explicites et ses propres connaissances pour induire les éléments manquants du texte. ce niveau est en lien immédiat avec le niveau de représentation suivant.

- Le niveau de « la base du texte » se fonde sur ce qu'on appelle les micro- et les macro-propositions qui sont des données sémantiques. Les premières permettent une cohérence partielle alors que les secondes justifient la cohérence de l'ensemble du texte.

- Le niveau de « code de surface » équivaut aux informations syntaxiques et lexicales. Quand le stock de vocabulaire du scripteur est riche, et que les règles de grammaires et syntaxiques sont intégrées, la cohérence du texte est meilleure et les informations sont plus précises.

En somme, pour que le niveau de cohérence soit reconnu comme suffisant, il faut que ces cinq composantes soient traitées.

Cette première sous partie, nous a permis de faire le point sur les principaux modèles cognitifs de la production écrite. Nous allons, à présent, nous intéresser à la

⁷ M.CHUY, & RONDELLI, F. (2010, mars). Traitement des contraintes linguistiques et cognitives dans la construction de la cohérence textuelle. *Langages*, pp. 57-82.

rédaction de texte chez l'adulte, l'importance de la mémoire de travail et l'automatisation des différents processus.

II. LE ROLE ET FONCTIONNEMENT DE LA MEMOIRE DANS L'ECRITURE

Le processus d'écriture nécessite d'invoquer les processus de mémoire à long terme et de travail. Nous verrons par la suite, les apports des travaux de D.T. KELLOGG (1994) puis ceux de la théorie capacitaire.

2.1. La mémoire à long terme

Que ce soit en dictée, en copie ou en rédaction de texte, nous faisons intervenir la mémoire à long terme lorsque nous écrivons. Elle contient l'ensemble des connaissances pragmatiques, référentielles, et linguistiques (M.CHUY & RONDELLI, 2010).

Pour la rédaction, tout d'abord, la mémoire à long terme permet de récupérer l'ensemble des données sur le thème de la rédaction. Plus le thème est familier plus il est facile pour le scripteur de récupérer ces connaissances.

Cette mémoire stocke également les diverses règles linguistiques nécessaires à écrire correctement les mots. Ainsi, les connaissances sur les types et genres de textes, les plans de textes, la grammaire, la syntaxe, l'orthographe permet de formuler le texte et d'obtenir une certaine cohérence. (McCutchen, 1986)⁸

C'est dans cette structure que le rédacteur va récupérer les connaissances pragmatiques et écrire son texte en fonction du destinataire. La représentation du destinataire permet au scripteur d'élaborer des stratégies de rédaction. (Wong 2005)

⁸ M.CHUY, & RONDELLI, F. (2010, mars). Traitement des contraintes linguistiques et cognitives dans la construction de la cohérence textuelle. *Langages*, pp. 57-82

2.2. La mémoire de travail

L'intervention de la mémoire de travail dans l'apprentissage et l'expertise de la rédaction de texte semble être acceptée par l'ensemble des auteurs. Cette mémoire implique des activités de stockage et de traitement de l'information. Le modèle de référence est celui de BADDELEY (1980, qui est composé de 3 sous parties et d'une partie additionnelle), dont nous avons le schéma ci-dessous (BADDELEY & GATHERCOLE, 1993)⁹.

2.2.1. L'administrateur central

L'administrateur central a un rôle de supervision. Il s'agit de la composante attentionnelle de la mémoire de travail qui coordonne, sélectionne et contrôle les opérations de traitement par l'intermédiaire de différentes fonctions exécutives. Pour BADDELEY, l'administrateur central a quatre fonctions distinctes :

- La coordination de deux tâches.
- La capacité de prendre en compte sélectivement un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres.
- La capacité de rompre les stratégies de rappel.
- La récupération et la manipulation des informations en mémoire à long terme.

2.2.2. La boucle phonologique

La boucle phonologique est un des deux registres de stockage de la mémoire à court terme. Elle assure le stockage des informations verbales. De plus, BADDELEY, THOMSON et BUCHANAN (1975) ont montré que pour maintenir une information en mémoire à court terme il faudrait la soutenir par des processus

⁹ BADDELEY, A., & GATHERCOLE, S. E. (1993). *Working memory and language*. Hillsdales: Lawrence erlbaum associates, publishers

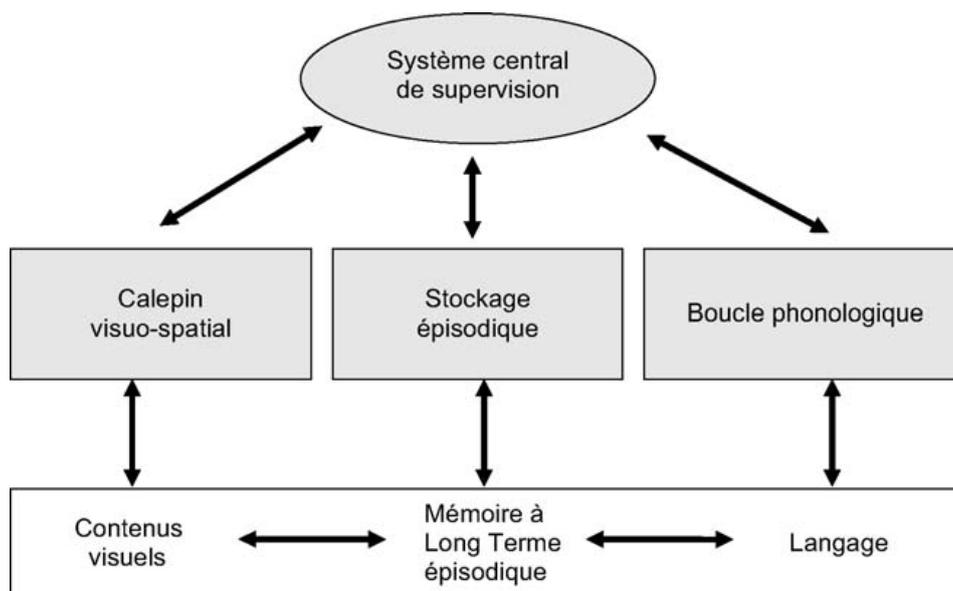
d'autorépétition dans la boucle phonologique. Ce processus est dénommé boucle articulatoire.

2.2.3. Le calepin visuo-spatial

Le calepin visuo-spatial permet de stocker les informations visuelles et spatiales. En ce qui concerne les mécanismes de rafraîchissement des informations, ceux-ci restent peu précis.

2.2.4. Le registre épisodique

En 2000, BADDELEY propose une révision de son modèle initial en ajoutant un stockage épisodique. Ce dernier permet de lier l'ensemble des informations multimodales provenant des autres composants mais aussi de la mémoire à long terme.



Les composants de la mémoire de travail d'après Baddeley (2000)¹⁰

¹⁰ T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2005, mai). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française*, pp. 373-390

2.3. Les apports des travaux de KELLOGG

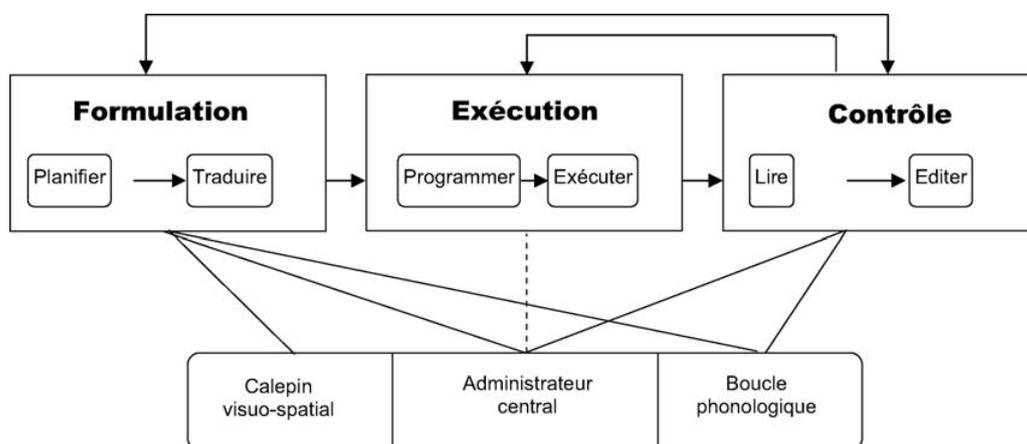
2.3.1. Le modèle

Pour KELLOGG (1994), la production de texte chez l'adulte serait l'activité cognitive la plus coûteuse. Ce chercheur se réfère au modèle de la mémoire de travail de BADDELEY comme base initiale de ses travaux. Nous pouvons nous référer au schéma ci-dessous pour comprendre les apports de ses travaux.

La première amélioration a été d'ajouter une unité de production graphique du texte. (T.OLIVE & PIOLAT)¹¹.

De plus, les travaux de Kellogg ont permis de spécifier les relations entre les processus rédactionnels et les différentes instances de la mémoire de travail.

Ainsi la planification qui est soutenue par l'administrateur central (cf. partie I/1.1.3.) serait en interaction avec le calepin visuo-spatial. En effet, lors de ce processus, le rédacteur visualise des images, des plans organisés. La traduction, quant à elle, engagerait, également, l'administrateur central mais aussi la boucle phonologique. En revanche, pour KELLOGG, le processus d'exécution ne demanderait que peu de ressources à l'administrateur central. Enfin, la révision du texte implique la mise en jeu de la boucle phonologique (lecture du texte, formulation linguistique et sa modification) et de l'administrateur central (focalisation de l'attention sur certaines parties du texte, organisation de la transformation).



Les processus rédactionnels et leur relation à la mémoire de travail selon Kellogg (1996)

¹¹ T.OLIVE & PIOLAT, le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes, 2005

2.3.2. Les demandes en ressources attentionnelles des processus rédactionnels.

KELLOGG (1986)¹² a également étudié les coûts en ressources centrales de chacun des processus rédactionnels.

La planification, la traduction et la révision (processus rédactionnels de haut niveau) seraient des processus qui demandent de fortes exigences à la mémoire de travail.

En ce qui concerne la planification, le coût serait en lien avec la récupération en mémoire à long terme. Ce coût dépend de la familiarisation au thème et des capacités rédactionnels. Un rédacteur habile utilise moins de ressources même si le thème de rédaction lui est peu familier. Au niveau de l'organisation du texte, la mise en place d'un plan avant la rédaction diminuerait le coût global de la production.

La révision de texte est un processus cognitif qui engage une part importante des ressources disponibles. PIOLAT et al. (2004) ont montré que la détection des erreurs dans un texte est un processus qui requiert plus de ressources que de lire ce texte pour le comprendre.

Nous verrons plus tard que la traduction (le fait de mettre en mot et de l'exécuter) serait le processus qui demande le moins de ressources.

2.4. La théorie capacitaire

2.4.1 Le point de départ

En 1992, JUST et CARPENTER proposent une théorie capacitaire au niveau de la compréhension du langage oral et du stockage temporaire de certaines représentations intermédiaires. Selon ces auteurs, lorsque les opérations cognitives en cours demandent plus de ressources attentionnelles qu'il y en a de disponibles alors certains traitements sont ralentis ou détériorés¹³.

¹²In T.OLIVE & PIOLAT, le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes, 2005

¹³ In BERNINGER, V. W. (2012). *Past, Present, and Future contributions of Cognitive Writing Research to Cognitive Psychology*. New York: Psychology Press

2.4.2. L'adaptation à la production écrite

En 1994, McCUTCHEN montre que les scripteurs ayant de bonnes capacités de mémoire de travail produisent des textes de meilleure qualité que les scripteurs avec un faible mémoire de travail.

A partir de ces recherches, McCutchen propose en 1996 la théorie capacitaire de la production écrite. En effet, la mémoire de travail nécessite le partage des ressources disponibles pour mettre en œuvre ses rôles de maintien et de traitement de l'information. Ainsi, l'activité d'écriture nécessite de coordonner plusieurs processus cognitifs qui seraient coûteux en stockage et traitement. Cette surcharge attentionnelle dégraderait alors ou ralentirait certains processus. Cette théorie explique les difficultés du rédacteur débutant qui ne disposerait pas assez de ressources pour coordonner l'ensemble des processus ou prendre en compte les contraintes¹⁴.

Pour McCutchen, l'expertise ne pourrait être acquise qu'à partir du moment où les trois processus de la rédaction de texte (planification, mise en texte, révision) seraient parfaitement coordonnés au sein de la mémoire de travail.

III. LES MODALITES QUI PERMETTENT D'AMELIORER LA QUALITE D'UN TEXTE.

3.1. L'automatisation des processus de bas niveau

Comme nous l'avons vu précédemment, la rédaction de texte est une activité complexe qui nécessite de fortes ressources attentionnelles. Elle est, donc, contrainte par la capacité limitée de ces ressources qui est différente d'un individu à l'autre. Il est ainsi difficile pour les individus de mettre en œuvre des traitements parallèles car le coût de ces traitements ne peut être supérieur aux ressources

¹⁴In T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2005, mai). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française*, pp. 373-390

disponibles. Pour cela, il faut que l'individu automatise certaines procédures par le biais d'apprentissage pour éviter une surcharge cognitive.

Selon A. Piolat (2004) « un traitement automatique est réalisé de façon involontaire, rapide, et irrépessible, sans interférer avec d'autres traitement. Il n'implique pas le recours d'un contrôle conscient et donc une attention soutenue. ». De même, l'automatisation d'un traitement ne mobilise pas ou peu l'administrateur central de la mémoire de travail et laisse ainsi de la place pour les autres traitements.

3.1.1. Automatisation des traitements grapho-moteurs

La transcription se caractérise par un faible coût cognitif chez le scripteur expert, c'est pourquoi elle est qualifiée d'opération de bas niveau. L'automatisation permet une production rapide, aisée, fluide et peu coûteuse en attention. De plus, la capacité à récupérer les lettres en mémoire et leur schéma de production permet de libérer des ressources attentionnelles pour les processus de haut niveau.

Il existe un certain consensus des auteurs qui reconnaissent que tant que la composante grapho-motrice n'est pas automatisée, celle-ci mobilise une grande partie des ressources disponibles (BOURDIN, COGIS, & FOULIN, 2010)¹⁵. Lorsqu'on demande à des adultes de produire un texte en utilisant une écriture peu automatisée (cursive-majuscule par exemple), ceux-ci utilisent une stratégie sérielle de composition comme les enfants alors qu'avec une écriture automatisée, ils sont capables de gérer en parallèle l'ensemble des processus. Cela implique que la stratégie utilisée pour la gestion des processus dépend du cout cognitif lié à la transcription.

Les difficultés de maitrise des processus grapho-moteurs seraient un facteur principal de mauvaise qualité du texte. En effet, le manque d'automatisation a des conséquences directes sur la fluidité (= vitesse d'écriture), sur l'ensemble des processus d'écriture (planification, mise en texte) et sur le produit fini car il ne resterait pas assez de ressources pour les processus liés à la gestion du texte déjà écrit (révision) (BOURDIN, COGIS, & FOULIN, 2010).

¹⁵ BOURDIN, B., COGIS, D., & FOULIN, J.-N. (2010, mars). Influence des traitements graphomoteurs et orthographiques sur la production de textes écrits: perspective pluridisciplinaire. *Langages*, pp. 57-82

Les expériences de V.Connelly, J. Dockrell et J.Barnett (2005)¹⁶ ont montré que la fluidité de l'écriture d'étudiants de premier cycle universitaire explique environ 30% de la variabilité au niveau qualitative des rédactions. Ces résultats posent question quant à l'automatisation systématique de la transcription chez l'adulte.

Beaucoup de travaux ont permis de montrer que l'entraînement aux habiletés grapho-motrices permet d'améliorer significativement les performances en productions écrites.

3.1.2. Automatisation des traitements orthographiques

La maîtrise de l'orthographe est longue et difficile surtout en français car il s'agit d'une langue où les correspondances entre les codes graphémiques et phonologiques ne sont pas systématiques (Dubois,1965)¹⁷. La maîtrise des règles orthographiques chez l'adulte (tels que les accords en genre et en nombre) permet de libérer des ressources cognitives pour favoriser le traitement des autres processus.

En cours d'apprentissage, les jeunes scripteurs allouent beaucoup d'attention aux traitements orthographiques. Lorsqu'ils sont libérés de ces contraintes avec par exemple l'utilisation d'orthographe inventés (expérience de M. Scardamalia et C. Bereiter en 1986), ils produisent des textes de meilleure qualité et plus longs. M.Fayol et al. ont placé des adultes en surcharge cognitive et ont noté qu'ils étaient plus sujets à des fautes d'accord. Ces résultats suggèrent bien que la gestion des règles orthographiques présente un coût cognitif.

De même que les processus grapho-moteurs, un entraînement aux habiletés orthographiques permet aux jeunes scripteurs et aux faibles orthographes d'augmenter leurs performances en rédaction de texte.

¹⁶ In BOURDIN, B., COGIS, D., & FOULIN, J.-N. (2010, mars). Influence des traitements graphomoteurs et orthographiques sur la production de textes écrits: perspective pluridisciplinaire. *Langages*, pp. 57-82.

¹⁷ *ibidem*

Selon la théorie capacitaire de McCutchen(1996) (cf. 2.3), il est nécessaire que l'individu automatise certains processus pour gérer l'ensemble des demandes en ressources attentionnelles.

Selon lui, les processus cognitifs du jeune rédacteur sont encapsulés c'est-à-dire non interactifs. Pour les novices, chaque mécanisme est traité indépendamment, sans coopération avec les autres modalités. Mais grâce à l'automatisation de certains processus et à l'accroissement de l'habileté de rédaction, ces processus pourraient bénéficier d'une plus grande interaction entre eux.

3.2. L'amélioration des performances des processus de haut niveau.

La qualité d'un texte produit peut être améliorée grâce à un travail spécifique des processus de haut niveau.

3.2.1. La planification

3.2.1.1. La différence scripteurs novices et scripteurs experts

Nous avons vu que la planification de texte nécessite la récupération des informations en mémoire en long terme, l'organisation de ses connaissances et l'élaboration d'un plan.

Pour SCARDAMALIA et BEREITER (1991)¹⁸, il existe deux méthodes de planification qui différencient les traitements opérés par le rédacteur novice et le rédacteur expert. La « stratégie des connaissances racontées » est utilisée par les scripteurs novices qui récupèrent les données nécessaires en mémoire et les transcrivent directement. « La stratégie des connaissances transformées » est quant à elle, adoptée par les scripteurs experts qui reformulent et réorganisent les données avant de les retranscrire.

¹⁸ CHANQUOY, L., & ALARMARGOT, D. (2003, décembre). Mise en place et développement des traitements rédactionnels: le rôle de la mémoire de travail. *Le Langage et l'Homme*, pp. 171-190

3.2.1.2. L'influence sur la qualité du texte

Différentes recherches ont permis de mettre en évidence les bénéfices de faire un brouillon au préalable de la mise en texte. KELLOGG notamment, en 1988¹⁹, montre qu'une phase d'organisation d'idées puis une phase de pré-écriture permettent d'obtenir des textes de meilleures qualités au niveau de la génération d'idées, de la longueur, de l'orthographe et de la cohérence.

PIOLAT et ISNARD (1993), dans un premier temps, et PIOLAT et ROUSSEY (1996), dans un second temps, ont expérimenté l'impact de l'élaboration de brouillon et de leur décomposition en trois phases sur la qualité des productions écrites. La première étape consistait à un « jet de note », la deuxième à une « organisation des idées » et la troisième à la « mise en texte ». Les résultats montrent que la deuxième phase a permis aux scripteurs d'évaluer la pertinence de leurs idées générées pendant la phase de jet de note et, ainsi, de sélectionner les meilleures. De plus, la dernière étape de mise en texte faciliterait l'accès à de nouvelles idées. Cette étude met, donc, en évidence que la génération de brouillon et son organisation sérielle contribuent à des textes de meilleure qualité.

3.2.2. La révision de texte

3.2.2.1. La différence scripteurs novices-experts

La révision consiste à un retour sur le texte déjà produit et sur la détection des erreurs. Les différences entre les débutants et les expérimentés seraient de nature quantitative et qualitative (HAYES et al. 1987). En cela, la fréquence des révisions serait beaucoup moindre chez le scripteur novice que chez les experts. Par ailleurs, la correction des erreurs affecterait plus la forme que le fond et elle se ferait principalement au moment de la production. Grâce à son expertise, le scripteur compétent peut davantage corriger la formulation que les idées en elles-mêmes.

¹⁹ T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2003). Activation des processus rédactionnels et qualités des textes. *Le Langage et L'Homme*, 191-204

Selon HAYES et al. (1987), le fait que les novices détectent moins bien les erreurs par manque de performance dans les compétences linguistiques est à l'origine de cette dissociation débutant-confirmé. De même, plus un individu est familiarisé avec le thème de la production plus il sera capable de détecter les erreurs de fond. Et enfin, le scripteur expert est susceptible d'envisager ce que le destinataire peut comprendre du texte en se mettant à sa place.

3.2.2.2. Les conséquences de la révision sur la qualité des textes produits

BUTTERFIELD, HACKER et ALBERTSON (1996)²⁰ proposent à des élèves de primaire et de collège de corriger des textes déjà produits. Leur expérimentation montre que la révision des collégiens, qui ont de meilleures acquisitions linguistiques et de meilleures connaissances thématiques, permet d'obtenir des textes de meilleure qualité tant sur la forme que sur le fond.

PIOLAT, ROUSSEY, et GUERCIN, en 1990, précisent que l'entraînement spécifique d'associer un type de correction à un schéma d'organisation de texte (type narratif, descriptif) et sur l'habileté à gérer les modifications locales et globales d'un texte permettrait d'obtenir des textes plus cohérents.

En somme, les habiletés en révision et les connaissances linguistiques interagissent chez les scripteurs experts pour leur permettre d'améliorer leur production de texte.

De même que pour le processus de planification, le brouillon semble être un support non négligeable pour la révision. En effet, le scripteur peut recourir à son brouillon pour comparer ses objectifs initiaux et le texte produit.

²⁰ T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2003). Activation des processus rédactionnels et qualités des textes. *Le Langage et L'Homme*, 191-204

IV. LA VITESSE D'ECRITURE

La vitesse d'écriture est étroitement liée au degré d'automatisation de l'activité grapho-motrice. En effet, plus l'exécution du geste graphique est maîtrisée moins l'individu allouera de ressource à cette composante (OLIVE et KELLOGG 2002)²¹

La production motrice est, donc, un processus beaucoup plus coûteux chez l'enfant que chez le scripteur expert du fait du manque d'automatisation.

4.1. Chez l'enfant

Pour Vinh-Bang (1959), la vitesse est acquise au détriment de la qualité d'écriture. Pour lui, la lisibilité des élèves de collège est moindre que celle des enfants de primaire car ils privilégient la vitesse.

Il existe une double contrainte dans l'évolution de la vitesse d'écriture chez l'enfant. D'une part, le niveau scolaire de l'enfant impose un certain rythme à l'élève. Il doit s'adapter à cette vitesse de transcription pour suivre la dynamique des leçons. D'autre part, le développement de l'enfant contraint l'évolution du rythme de la classe. C'est pourquoi, un seuil limite de vitesse ne peut être dépassé par l'ensemble des élèves. De ce fait, on ne peut pas réellement dire que la vitesse d'écriture est une donnée développementale car, en plus d'être influencée par des éléments intrinsèques à l'enfant, elle prend, aussi, en compte des données externes.

Ainsi, l'étalonnage de la vitesse d'écriture dans le test du BHK (Brave Handwriting Kinder) est fonction de la classe des enfants.

La vitesse d'écriture augmente progressivement au cours de la scolarité de l'enfant. Il semblerait que la vitesse d'écriture atteigne un palier au niveau du CM2 pour ensuite s'accroître progressivement à partir du collège.

²¹ PEVERLY, S. T. (2006). The importance of handwriting speed in adult writing. *developmental neuropsychology*, pp. 1997-213

4.2. Chez l'adulte

L'écriture de l'adulte est sous-tendue par des caractéristiques similaires que chez l'enfant (mémoire de travail limitée, certains processus peuvent être moins efficaces que d'autres,...). Néanmoins, chez l'adulte, l'automatisation des processus cognitifs de haut et bas niveaux est, en général, acquise et maîtrisée.

Nous avons vu que les différentes tâches d'écriture n'imposent pas les mêmes coûts cognitifs. C'est pourquoi, la vitesse de production est en général une des premières modalités affectées lorsqu'il existe une surcharge chez l'individu (BROWN et al.)²².

BROWN, Mc DONALD and CARR ont proposé à des adultes des situations de doubles tâches. Simultanément à une tâche de copie de texte, les individus entendent une série de mots isolés. Après un signal déterminé, les participants doivent donner le mot énoncé qui précède le signal (tâche concurrente d'écoute facile) ou l'avant dernier mot qui précède le signal (tâche concurrente d'écoute difficile). Les résultats de cette expérimentation montrent que plus la tâche concurrente est difficile plus la vitesse d'écriture diminue. Ainsi, Le groupe témoin (pas de tâche concurrente) écrit plus vite que le groupe de la double tâche simple. Ces derniers écrivent plus rapidement que le groupe de tâche concurrente difficile.

D'une manière générale, les adultes produisent des textes de meilleure qualité et plus longs que les enfants. C'est grâce à l'intégration et à un traitement parallèle des différents processus cognitifs que les adultes parviennent à cette expertise. Néanmoins, tout comme les enfants, la vitesse d'écriture des adultes peut être affectée si les ressources attentionnelles sont en surcharge.

²² PEVERLY, S. T. (2006). The importance of handwriting speed in adult writing. *developmental neuropsychology*, pp. 1997-213

Conclusion partie théorique

Dans cette partie théorique nous avons vu quelles sont les différentes tâches d'écriture qui existent. Ces dernières ne sollicitent pas toutes le même niveau de ressources attentionnelles. Dès lors qu'une modalité de l'écriture est peu automatisée, celle-ci peut influencer les aspects graphomoteurs.

Au lycée , les compétences de rédaction sont fréquemment sollicitées. Les épreuves de baccalauréat, notamment, imposent cette modalité d'écriture et il est certain que la qualité graphomotrice influence la prise en compte des données de fond. Ainsi une copie avec une écriture fluide et intelligible recevra une meilleure note qu'une copie de mauvaise qualité au niveau de la forme. De plus, nous avons vu qu'une tâche de rédaction nécessite un coût cognitif assez important. De ce fait, cette tâche semble plus sujette à une dégradation de la qualité des textes.

Ainsi, il semblait pertinent de prendre en compte les tâches de rédaction dans l'évaluation de l'écriture du lycéen. En plus d'étalonner les tâches de copie du BHK , nous avons essayé de comparer ces résultats avec ceux d'un texte libre.

PARTIE PRATIQUE

N'ayant que peu d'éléments sur la qualité et la vitesse d'écriture des lycéens, il semblait donc intéressant de commencer l'étalonnage du test du BHK pour ce niveau scolaire. Néanmoins, notre raisonnement a dépassé l'étude de la simple tâche de copie. Nous avons joint au protocole une seconde épreuve de production libre de texte.

Suite à ce rajout, nous espérons répondre aux questions suivantes : existe-t-il une différence significative de la qualité et de la vitesse d'écriture entre une tâche de copie et une tâche de rédaction ? Est-il intéressant de prendre en compte cette modalité d'écriture dans l'évaluation grapho-motrice d'un élève de lycée ? Cette épreuve peut-elle mettre en évidence une dysgraphie de « surcharge » (causée par le coût attentionnel du traitement des processus d'écriture : cf. 2.3.2 partie théorique) chez un élève lors d'une production libre de texte ?

I. PRESENTATION DU TEST : LE BHK (BRAVE HANDWRITING KINDER)

Pour réaliser cette étude comparative de l'écriture du lycéen, nous avons utilisé, les consignes et les critères du BHK ado (6^{ème}-3^{ème}). C'est pourquoi, une présentation de cette épreuve est nécessaire.

1.1. Origines et objectifs

L'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant - BHK a été créé par Lisa Amstra-Bletz, Hans De Bie et Berry P.L.M den Brinken en 1987, pour déceler précocement les dysgraphies chez les enfants scolarisés du CP au CM2.

L'adaptation française du test a été réalisée en 2003 par CHARLES M., SOPPELSA R, ALBARET J.-M. Pour rappel, la dysgraphie est un trouble de l'expression écrite.

La version collège est en cours de publication pour les élèves scolarisés de la 6^{ème} à la 3^{ème}²³.

L'épreuve consiste à recopier un texte (annexe 1) pendant cinq minutes, avec une vitesse et une qualité dites normales pour l'élève. Il doit écrire exactement comme à son habitude.

La cotation se fait sur les 5 lignes au niveau du deuxième paragraphe (annexe 2):

- 1- « L'eau venait sur les côtés, avec une grande
- 2- force. Des enfants étaient près de moi. Le plus petit,
- 3- donnait ses affaires à une femme.
- 4- Cette femme, qui était grande et belle, devait être une amie. Elle
- 5- lui avait pris la main, et je les voyais aller vers une place : »

1.2. Les critères pris en compte lors de la correction du BHK ado

1.2.1. Critère A : variation de hauteur des lettres troncs

Dans ce critère, nous évaluons la stabilité des lettres troncs (a, c, e, i, m, n, o, r, s, u, v, w). Grâce à la grille de corrections, nous évaluons si la plus grande des lettres troncs est comprise dans la marge d'erreur du transparent de correction. On attribue à chaque phrase la note de 0 si les lettres sont stables et 1 point si les lettres troncs sont instables. Chaque ligne est cotée donc les résultats de ce critère peuvent aller de 0 à 5 points.

²³ B.BRAECKMAN ; P. VOUTSINOS-SVILARICH, proposition d'une nouvelle cotation pour l'échelle rapide d'évaluation de l'écriture chez le collégien. Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme d'état de psychomotricité (mai 2009)

1.2.2. Critère B : hauteur relative des lettres troncs et des lettres avec hampe et /ou jambage

Pour ce critère, la hauteur des lettres troncs (cf. 1.2.1) doit être strictement inférieure à celle des lettres non troncs (avec hampe ou jambage : b, d, f, g, h, j, k, l, p, q, t, y, z).

Pour cela, il faut mesurer la hauteur de la plus petite lettre avec hampe et /ou jambage, puis la hauteur de la plus grande lettre tronc et ensuite comparer les deux mesures. Si la hauteur de la lettre tronc est égale ou inférieure à celle de la lettre non tronc, on attribue 0 point. En revanche, si la hauteur est strictement supérieure, on pénalise de 1 point.

Chacune des 5 lignes est notée, la note maximale pour ce critère est donc de 5 points.

1.2.3. Critère C : le télescopage

Le télescopage est la superposition ou le simple contact entre deux lettres consécutives. On considère qu'il n'y a pas télescopage si nous pouvons observer un espace entre les deux lettres. Dans ce cas on attribue 0 point et 1 point si les lettres se chevauchent. Nous ne prenons pas en compte les ponctuations, les points (« i », « j »), les barres surajoutées (« t », « f »), les accents, ni les liens d'attachement entre deux lettres. Chaque ligne est notée, la note maximale pour ce critère est donc de 5 points.

1.2.4. Critère D : Lettres ambiguës

Les lettres ambiguës sont des lettres qui peuvent être confondues avec une autre lettre amenant à lire le mot différemment de ce qui est attendu. De même, les lettres non reconnaissables en tenant compte des graphies acceptables en script et en

cursif sont concernées. Si la lettre en question a été repérée comme télescopage (critère C), elle n'est pas considérée pour ce critère.

On attribue 1 point s'il existe au moins une lettre ambiguë dans la phrase et 0 s'il n'y en a pas. Chaque ligne est cotée.

1.2.5. Critère E : Lettre majuscule à l'intérieur des mots

Dans ce critère, nous recherchons la présence de lettre majuscule à l'intérieur ou en début de mot qui ne correspond pas à un début de phrase. Lorsque certaines lettres s'écrivent de la même façon en minuscule et en majuscule comme le « s » ou le « v », on prend en compte la taille de la lettre

Chaque lettre majuscule en dehors de la première lettre de début de phrase est notée 1, en cas d'absence notée 0. Chaque ligne est cotée séparément (note maximale de 5 points).

1.2.6. Critère F : Parallélisme des lignes

Le critère F permet d'observer si les lignes sont parallèles entre elles. On compare chaque ligne avec la ligne précédente.

1 - « où elle va » et « L'eau venait sur les côtés, avec une grande » ;

2 - « L'eau venait sur les côtés, avec une grande » et « force. Des enfants étaient près de moi. Le plus petit, » ;

3 - « force. Des enfants étaient près de moi. Le plus petit, » et « donnait ses affaires à une femme. »

4 - « donnait ses affaires à une femme. » et « Cette femme, qui était grande et belle, devait être une amie. Elle » ;

5 - « Cette femme, qui était grande et belle, devait être une amie. Elle » et « lui avait pris la main, et je les voyais aller vers une place : ».

On attribue 0 point si les lignes sont parallèles et 1 points si elles ne le sont pas. Chaque intervalle est observé et on considère une marge d'erreur de 1mm. Ainsi la note maximale est de 5 points.

1.2.7. Critère G : Stabilité des mots

Dans ce critère de stabilité des mots, nous comparons la longueur des mots deux à deux grâce à une règle. La mesure s'effectue du début jusqu'à la fin du tracé des mots. Une marge d'erreur de 1 mm est tolérée. Les mots comparés sont donc : « femme » ; « une » ; « grande » ; « et » ; « les ».

On attribue, pour chaque phrase, 0 point si la longueur est respectée et 1 point si l'écart de longueur est supérieur à 1mm.

1.2.8. Critère H : Stabilité des « a »

La stabilité des « a » consiste à comparer la largeur des deux premiers « a » de chaque ligne. La comparaison s'effectue sur le corps du « a », les liens de connexions ne sont pas pris en compte.

Pour chaque phrase, les notes possibles sont 0 si les « a » sont stables ou 1 point si les « a » dépassent la marge d'erreur de 1 mm.

1.2.9. Critère I : Stabilité des « t »

Pour ce critère, nous évaluons l'inclinaison des « t » deux à deux. Il existe trois possibilités d'inclinaison : le « t » peut -être tout droit, soit il penche à droite soit à gauche.

Si l'inclinaison diffère entre deux « t » d'une même ligne, nous attribuons 1 point, si l'inclinaison est respectée on note 0. Chaque ligne étant notée, la note maximale est donc de 5 points.

1.3. La vitesse

Pour évaluer la vitesse de transcription, on compte chaque caractère (lettres, apostrophes, ponctuations). Pour cela, une aide au comptage peut nous être apportée (annexe 4).

1.4. Le matériel

Le matériel nécessaire à la passation se compose de :

- Un double feuillet avec une fiche de renseignements personnels placée en première page (annexe 5)

- un « texte à recopier » et une feuille blanche de format A4 fournis par l'examineur : la copie du BHK se faisant sur la feuille volante et la rédaction de texte à l'intérieur du feuillet ;

- un stylo choisi par le collégien;

- un chronomètre pour l'examineur ;

Nous nous sommes servis de ce test du BHK ado pour poser les bases du protocole, chez lycéen, présentée ci-dessous.

II. Le protocole de passation

Afin de répondre à notre problématique, nous avons démarché le rectorat de Haute-Garonne en décembre 2012 .Suite à leur accord, nous avons commencé à démarcher les lycées en vue de procéder à des passations.

2.1. Les conditions de passation

2.1.1. Les conditions

La passation du test s'est effectuée de façon collective au sein des établissements scolaires. Les élèves étaient regroupés soit en classe entière soit en deux classes dans une salle de cours ou dans une salle d'étude. Pendant l'épreuve, qui s'est faite en présence de leur professeur ou d'un surveillant, nous avons veillé à ce qu'ils soient dans une pièce calme et lumineuse, présentant, ainsi, toutes les conditions favorables à la passation. Une autorisation parentale (annexe 5) avait été distribuée quelques jours avant notre arrivée pour qu'elle puisse nous être transmise le jour de la passation.

2.1.2. La répartition et démarchage des lycées

L'effectif total des lycéens est de 336 élèves qui ont été séparés en deux catégories : un groupe filière générale et, un autre, filière professionnelle. Les lycées généraux sont composés d'un lycée de Haute de Garonne (31), d'un lycée de l'Ain (01) et d'un lycée des Landes(40). Les lycées professionnels se composent de deux lycées de Haute-Garonne (31).

Echantillon des lycées généraux :

	Filles	Garçons	Total
Seconde	54	32	86
Première	29	26	58
Terminale	9	13	22
Total	92	71	166

Echantillon des lycées professionnels :

	Filles	Garçons	Total
Seconde	37	12	49
Première	49	17	66
Terminale	42	13	55
Total	128	42	170

2.2. Consignes et passation

Les passations se sont déroulées en deux temps. D'une part, l'épreuve de copie du texte du BHK puis l'épreuve de de rédaction de texte. Leur ordre dans le protocole a été inversé, en fonction, des classes pour diminuer d'éventuels impacts dans les résultats.

2.2.1. LE BHK

Les consignes utilisées sont les mêmes que celles du BHK ado.

« Vous n'avez besoin de rien sur votre table sauf un crayon avec lequel vous écrivez habituellement mais pas de crayon à papier. Ne prenez ni gomme, ni effaceur, ni règle. Si vous faites une erreur ce n'est pas grave, vous pourrez la barrer.

Je vous ai distribué un feuillet avec une feuille volante et un texte. Quand je vous le dirai vous ouvrirez le feuillet et vous commencerez à recopier le texte sur la feuille blanche.

Vous ne commencerez à recopier que lorsque je vous donnerai le signal de départ. Vous devrez écrire comme d'habitude (ni trop beau, ni trop laid), au même rythme que d'habitude. Ne vous arrêtez pas, essayez d'écrire de façon continue pendant 5 minutes.

Vous commencerez par la ligne du texte en haut et à gauche «Il fait très beau». Vous devez respecter les retours à la ligne. (Donner un exemple)

Si une ligne est trop longue, vous pouvez revenir à la ligne sans oublier de respecter les retours à la ligne. (Donner un exemple)

Si vous arrivez à la fin de la feuille, vous la retournerez pour continuer à écrire au verso. Puis si vous avez écrit sur les deux côtés de la feuille, vous en prenez une nouvelle.

Quand je vous demanderai d'arrêter d'écrire, vous poserez votre crayon même si vous n'avez pas fini d'écrire un mot.

Est-ce que vous avez des questions ?

Vous êtes prêts ? On y va : recopiez le texte. »

L'examineur enclenche le chronomètre quand les élèves ont retourné le texte à recopier. Le signal d'arrêt est donné au bout de 5 minutes :

« Vous allez poser votre crayon même si vous êtes en train d'écrire un mot, ce n'est pas grave »

2.2.2. La rédaction de texte libre

Les consignes restent globalement similaires à la copie du BHK : écrire pendant 5 minutes sur une feuille blanche de type A4. Nous avons, néanmoins rajouté, quelques règles.

Premièrement, les élèves devaient nous raconter quelque chose, aucun thème n'a été imposé. Nous avons donné quelques pistes pour les élèves en mal d'inspiration (raconter votre week-end, parler d'un évènement qui les a marqué,...). L'objectif n'étant pas d'écrire un texte déjà rédigé de type chanson, poème, blagues, extrait de livre.

Deuxièmement, le texte devait comporter au moins cinq lignes (pour des commodités de correction).

Et troisièmement, même si les cinq lignes étaient écrites, les élèves devaient continuer à écrire tant que les cinq minutes n'étaient pas écoulées.

Pour la correction de ce texte, nous avons utilisé les six premiers critères du BHK pour évaluer la qualité. Nous avons pris la décision d'enlever les trois derniers critères de stabilité (des mots, des « a » et des « t »). Il était, en effet, difficile de

trouver 5 mots écrits deux fois dans les textes. En ce qui concerne la vitesse, nous avons compté le nombre de caractère (lettres, ponctuations, apostrophes) de chaque texte.

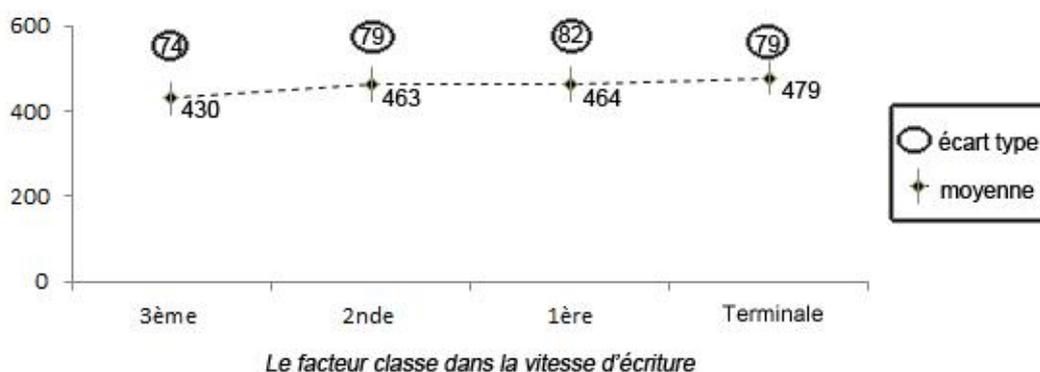
III. L'ANALYSE STATISTIQUE ET SES RESULTATS

L'analyse statistique (ANOVA) a été réalisée selon le logiciel SPSS 21. Elle prend en compte les deux types de tâches (copie ou texte spontané). Les résultats les plus pertinents seront détaillés ci-dessous.

3.1. La variable dépendante : la vitesse d'écriture

Une ANOVA de plan $2 \times 3 \times 2 \times 2$ [catégorie d'établissement (général ou professionnel) classe (seconde, première, terminal)*sexe (fille, garçon)*condition d'écriture (copie ou rédaction libre) à mesure répétée sur le dernier facteur] a été réalisé dans un premier temps.

Cette première analyse ne montre aucun effet du facteur classe sur la vitesse d'écriture c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'évolution de la vitesse en fonction du niveau scolaire $F(2 ; 324)=1,41 ; NS$. Ce postulat autorise, donc, le regroupement des données



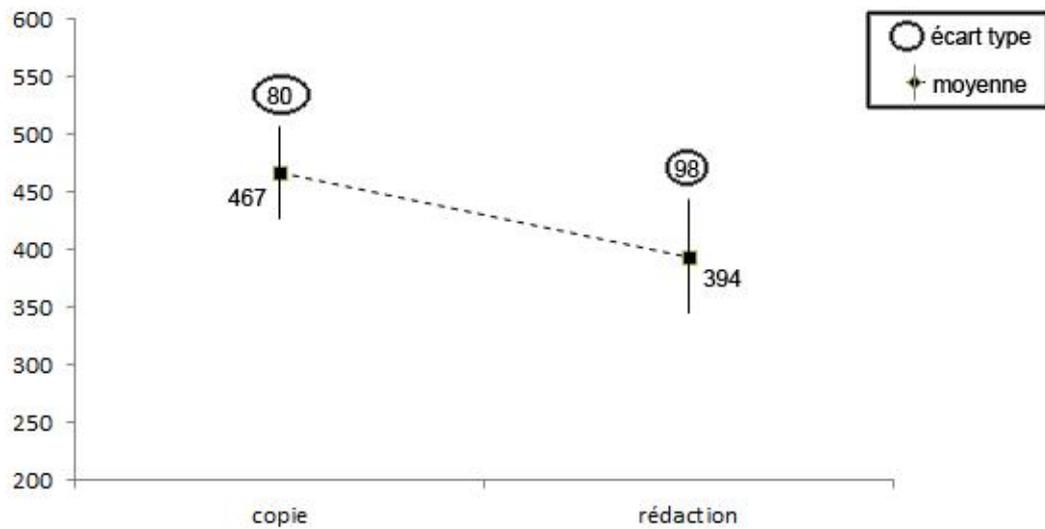
Une deuxième analyse a, alors été réalisée, selon un plan 2*2*2 : catégorie d'établissement (général ou professionnel)* sexe (fille ou garçon) condition d'écriture (copie, rédaction spontanée) à mesure répétée sur le dernier facteur. Nous voyons, ci-dessous, les analyses descriptives.

Statistiques descriptives

	Cat (pro ou general)	Sexe	Moyenne	Ecart-type	N
Vitesse	G	F	494,05	81,648	92
		M	489,82	83,905	74
		Total	492,17	82,436	166
	P	F	449,80	70,641	128
		M	424,05	65,223	42
		Total	443,44	70,044	170
	Total	F	468,30	78,375	220
		M	466,01	83,627	116
		Total	467,51	80,110	336
Vitesse	G	F	434,34	95,529	92
		M	402,30	86,688	74
		Total	420,05	92,806	166
	P	F	380,73	98,130	128
		M	331,31	83,652	42
		Total	368,52	96,908	170
	Total	F	403,15	100,392	220
		M	376,59	91,865	116
		Total	393,98	98,212	336

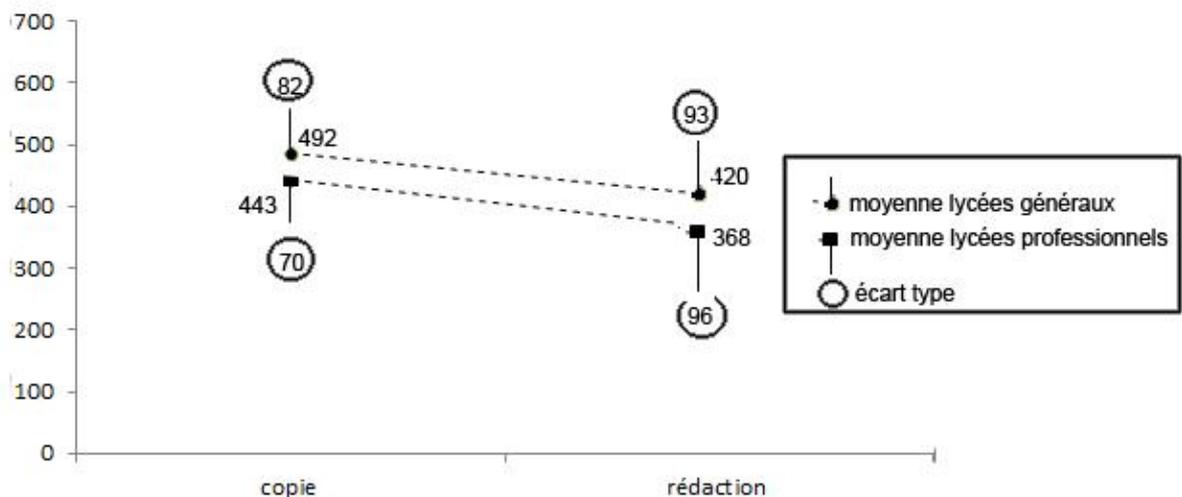
En ce qui concerne les facteurs généraux, l'analyse statistique permet de mettre en évidence que:

- Au niveau de l'analyse intra-sujets, la variable dépendante de la vitesse montre un effet significatif pour le facteur du type d'écriture $F(1 ; 324)=183,8$; $p<0.0001$. La vitesse d'écriture est supérieure sur la tâche de copie.



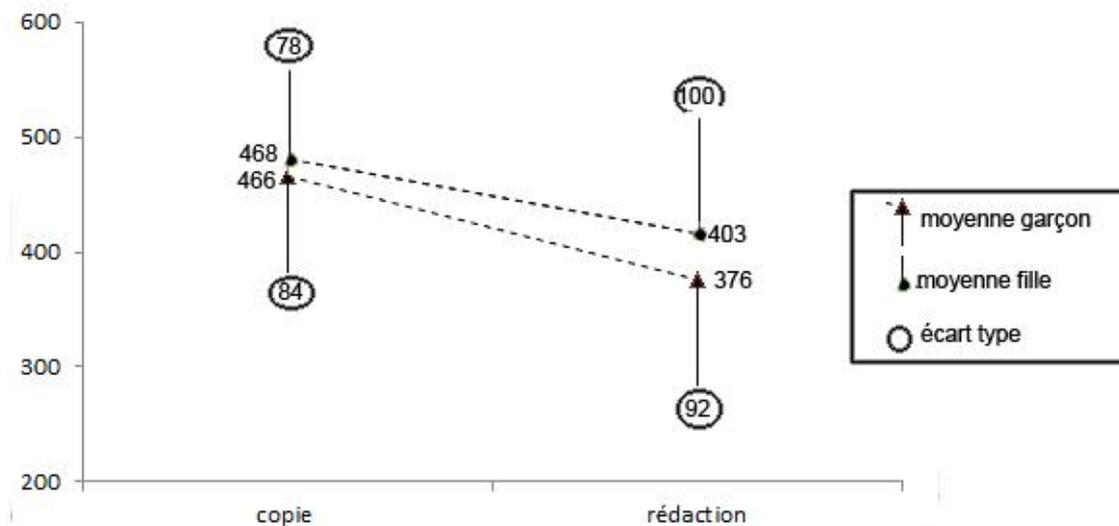
Différence de vitesse de transcription entre une tâche de copie et une tâche de rédaction

○ Au niveau de l'analyse inter-sujets, la variable dépendante de la vitesse montre un effet significatif pour le facteur catégorie du lycée (général ou professionnel) $F(1 ; 332) = 49,78$; $p < 0.0001$. La vitesse d'écriture est moindre d'une manière générale dans les lycées professionnels.



Différence de vitesse d'écriture entre les lycées professionnels et les lycées généraux

○ Toujours, dans l'analyse inter-sujets, la variable dépendante de la vitesse montre un effet significatif pour le facteur sexe (fille ou garçon) $F(1; 332)=11,23$; $p<0,001$.



La variable de genre dans la vitesse d'écriture.

Au niveau des interactions entre les facteurs, l'analyse statistique montre qu'il existe une interférence entre les facteurs écriture et le facteur sexe. $F(1; 332)=5,10$; $P<0,025$.

Pour les facteurs établissement et type d'écriture, on ne retrouve pas d'interférence significative au niveau de la vitesse $F(1; 332)=1,37$; NS .

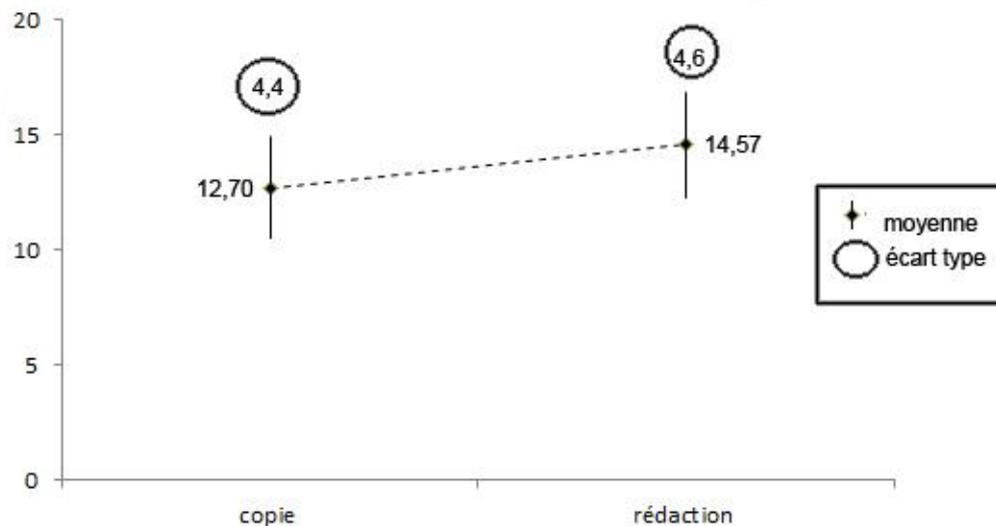
3.2. La variable dépendante : le sous total- total de la qualité d'écriture

Pour la qualité du texte, nous avons comparé le sous total de la copie du BHK (qui comprend les critères 1, 2, 3, 4, 5 et 6) avec le total de la rédaction de texte.

L'analyse de variance met en évidence que :

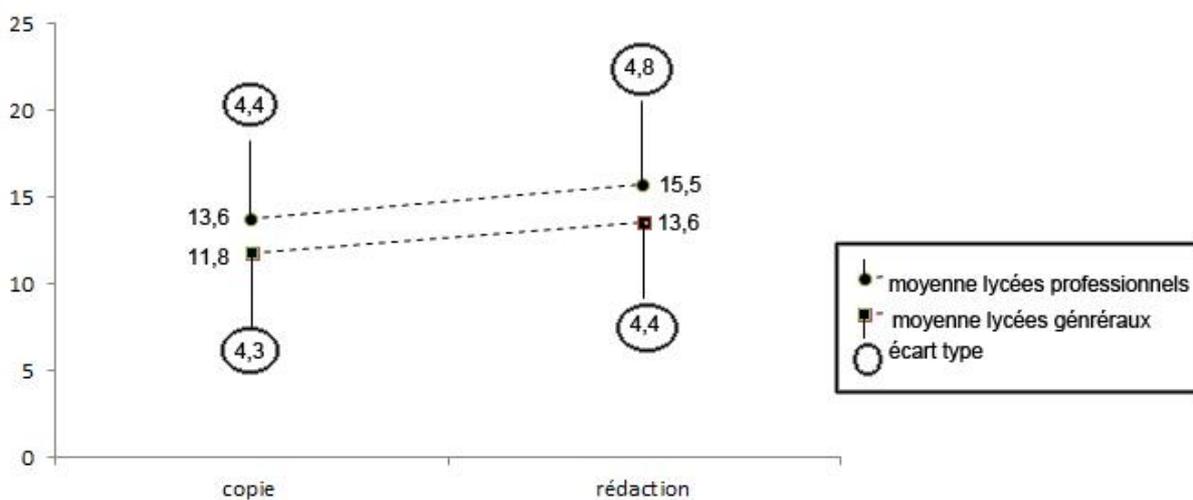
- Au niveau de l'analyse intra-sujets, la variable dépendante de la qualité de l'écriture montre un effet significatif pour le facteur type d'écriture (copie ou

rédaction) $F(1 ; 324) = 74,31$; $P < 0.0001$. Ainsi, la qualité de l'écriture est plus dégradée sur une tâche de production libre que sur la tâche de copie.



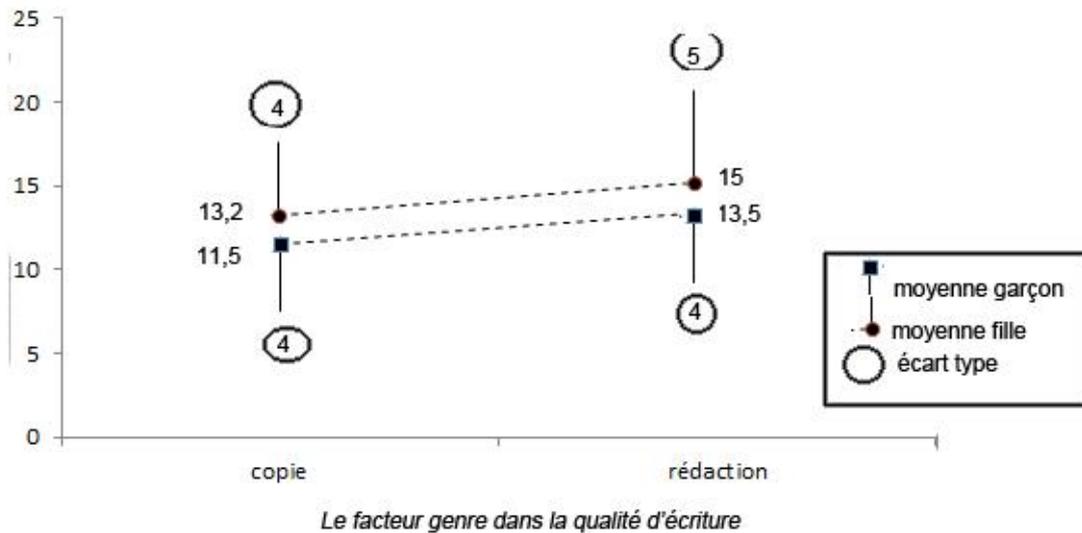
Les différences de qualité d'écriture entre les tâches de copie et de rédaction

En ce qui concerne l'analyse inter-sujets, la variable dépendante de la qualité montre un effet significatif du facteur catégorie du lycée (général ou professionnel) $F(1 ; 324) = 11,54$; $P < 0.001$. De la sorte, l'écriture est de meilleure qualité chez l'élève de lycée général par rapport à un élève de lycée professionnel.

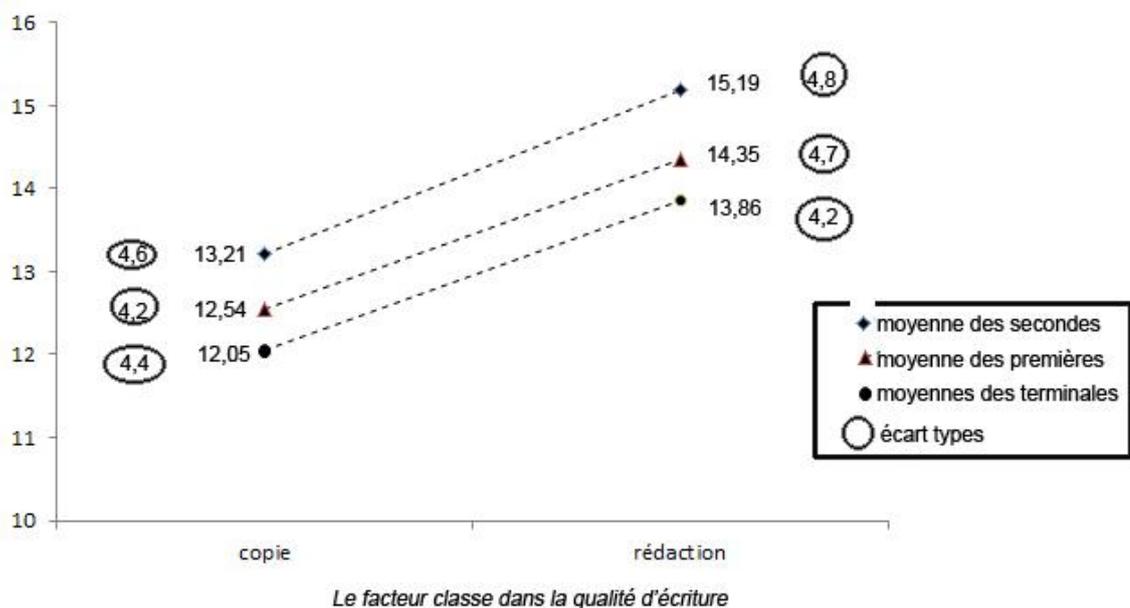


Différence de qualité d'écriture entre les lycées professionnels et les lycées généraux

- De même, on observe un effet notable du facteur sexe $F(1 ; 324) = 4,36 ; P < 0.037$. D'après cette analyse, les filles obtiennent un score plus élevé, au niveau de la qualité, que les garçons.



- On note également, que la variable dépendante de la qualité montre un effet significatif de la classe (seconde, première, terminal) $F(2 ; 324) = 3,70 ; P < 0.026$. D'une manière globale sur l'ensemble des deux épreuves, plus le niveau scolaire est élevé moins l'écriture est dégradée.

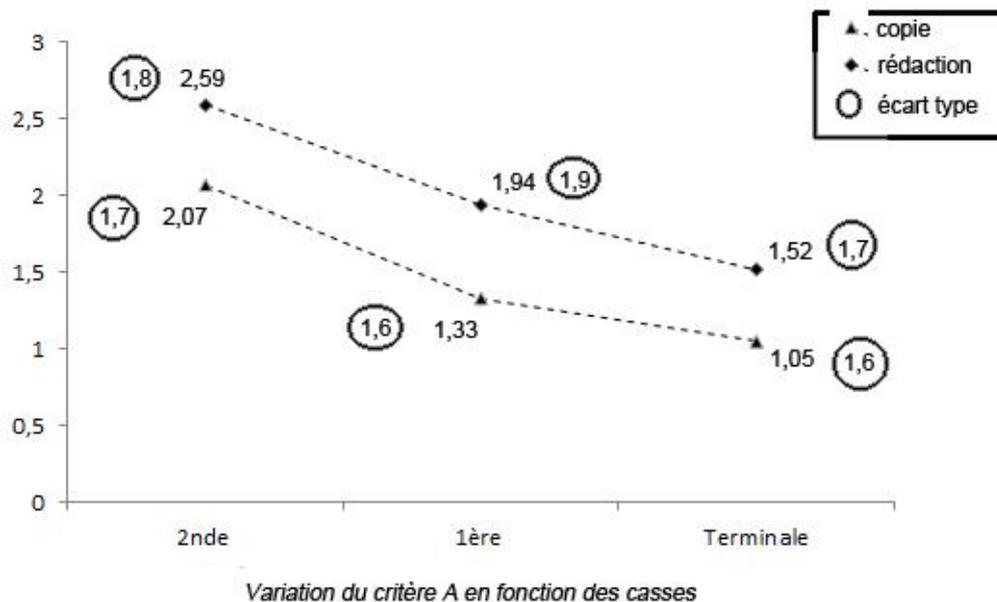


3.3. L'analyse statistique pour chaque critère

3.3.1. Critère A : variation de la hauteur des lettres troncs

La variable dépendante du score nous montre un effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324)=42,10$; $P<0,0001$, du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324)=10,41$; $P<0,001$ et du facteur classe $f(2 ; 324)=5,938$; $P<0,003$. Il n'existe pas sur ce critère d'effet du facteur sexe $F(2 ; 324)=2,51$; NS.

Cependant, on observe une interaction des facteur type d'écriture et sexe $F(1 ; 324)=5,224$; $P<0,023$.



3.3.2. Critère B : variance des lettres troncs et des lettres avec hampe et/ou jambage

La variable dépendante du score nous montre un effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324)=4,313$; $P<0,039$ et du facteur sexe $F(1 ; 324)=16,539$; $P<0,0001$. néanmoins, il ne montre pas d'effet notable du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324)=0,068$, NS, ni du facteur classe $F(2 ; 324)=1,745$; NS.

UNIVERSITE TOULOUSE III
Faculté de Médecine de Toulouse Rangueil
Institut de Formation en Psychomotricité



INDIÇAGE EXTERNE DU MOUVEMENT COMME PRINCIPE DE PRISE EN CHARGE D'UNE ENFANT PRÉSENTANT UNE AGÉNÉSIE DU CORPS CALLEUX

**Un travail portant sur les pré-requis aux coordinations
bimanuelles**

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricien

- Octobre 2013 -

Julie Athenosy

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALEp8

PARTIE THEORIQUE: Coordination bimanuelle, Agénésie du Corps calleux (ACC) et indiçage externe

I les coordinations bimanuellesp10

A-Définitionsp10

- 1) Les coordinations motricesp10
- 2) Les coordinations bimanuellesp10

B- L'existence de deux patrons de coordination spontanésp11

C- Les contraintes inhérentes aux coordinations bimanuellesp12

- 1) Une contrainte temporellep12
- 2) Les contraintes spatialesp14

D- Les prérequis au développement des coordinations bimanuellesp15

F- Les syncinésiesp17

- 1) Illustration et définitionp17
- 2) Populations présentant des syncinésiesp17
- 3) Modèles explicatifs des syncinésiesp19
 - a- Le faisceau cortico-spinal ou voies pyramidales croisée et non croiséep19
 - b- Deux modèles complémentairesp20

II Le Corps Calleux (CC)p21

Introductionp21

A- Anatomie descriptivep22

B-Études de la Physiologie et des fonctions du CCp23

- 1) Les investigations expérimentales du CCp23
- 2) Les mécanismes d'action globaux et fonctions du corps calleuxp24
 - a- Fonction de transmission d'informationsp24
 - b- Fonction de coordination des deux hémisphèresp24
- 3) CC et coordination bimanuellep25

a- Troubles de la motricité bimanuelle et manuelle	p25
b- L'action du CC dans la genèse de mouvements miroirs complexes	p26
c- L'action principalement inhibitrice du CC	p27
d- Le découplage spatio-temporel des mouvements bimanuels	p28
C-Embryogenèse et maturation calleuse	p29
1) Embryogenèse et développement du CC	p29
2) Myélinisation et efficacité du transfert inter hémisphérique	p29
3) Maturation calleuse et développement des coordinations bimanuelles	p30
D- Stabilité des coordinations bimanuelles en fonction de la répétition et de la maturation nerveuse	p31
E- Conclusions	p32
III L'agénésie du corps calleux (ACC)	p33
A- Définitions, terminologies des pathologies du CC et pronostic	p33
1) Agénésie complète, agénésie partielle et dysgénésie	p33
2) Pronostic	p33
B- Prévalence et répartition selon le sexe	p34
1) Prévalence de l'agénésie isolée du CC	p34
2) Prévalence dans une population spécifique	p34
3) Répartition selon le sexe	p34
C- Étiologies	p35
D- Sémiologie de l'ACC	p35
E- Troubles, pathologies et caractéristiques associés	p36
Le retard mental	p37
F- Caractéristiques directement en rapport avec le transfert inter-hémisphérique	p38
G- Récapitulatif servant à la prise en charge d'enfants présentant une ACC	p39
IV: Plasticité cérébrale, rééducations et indiçage externe	p40
Introduction: la plasticité cérébrale, l'ACC et la psychomotricité	p40
A- Principe de l'indiçage visuel et auditif dans la rééducation de troubles moteurs	p41
B- Induction motrice des rythmes auditifs et rythmes visuels	p42
C- L'existence de deux voies pour la préparation du mouvement	p43

1) Présentation de l'expérience de Debaere et al, (2003).....	p44
2) Rappels anatomo-fonctionnels et fonctionnement de la voie cortico-cérébelleuse	p44
3) Rappels anatomo-fonctionnels et fonctionnement de la voie cortico-striatale	p46
4) Indiciage externe et rééducations	p47
D- Indiciage externe et mémorisation du signal comme principe de rééducation d'une enfant présentant une agénésie partielle du CC: hypothèses et démarche	p48

PARTIE PRATIQUE

La rééducation de Camille.....	p50
Introduction	p50
I- Présentation de Camille.....	p50
A- L'histoire de Camille: anamnèse, développement, diagnostic et suivis	p51
1) Anamnèse	p51
2) Développement et suivis	p51
3) Diagnostic de l'évaluation complète de 2008	p52
4) Projet de soins et scolarisation	p53
B- Aujourd'hui	p54
1) Point sur les rééducations en cours	p54
2) Comportement global, scolarité et orientation : réunion de suivi de janvier 2013.....	p55
3) Bilan psychomoteur d'évolution de l'enfant de 2012	p56
4) Conclusion du bilan psychomoteur et observations cliniques durant les prises en charge	p59
5) Projet thérapeutique et axes de travail en psychomotricité pour l'année 2012/2013.....	p61
II- Pré-test	p62
A- Présentation des outils utilisés pour constituer la ligne de base	p62
1) Items du Subtest IV de la WACS	p62
2) Le Purdue Pegboard	p63
3) Le logiciel Présentation	p64
B- Analyse des résultats	p65
1) Synthèse des résultats au pré-test des items du Subtest IV de la WACS	p65
2) Synthèse des résultats du pré-test au Purdue Pegboard	p65

3) Synthèse des résultats du pré-test au logiciel Présentation	p66
4) Conclusion du pré-test	p67
III- Rééducation	p68
A- Principes rééducatifs en lien avec la problématique	p68
B- Objectifs	p69
C- Description des exercices et de la structure de la séance	p70
Exercice 1 : Saut pieds joints au-dessus d'une corde.....	p70
Exercice 2 : Soleil	p70
Exercice 3 : Imitation de positions de mains.....	p70
Structure type de la séance	p71
D- Évolution et récapitulatif de l'exercice	p72
1) Saut pieds joints au-dessus d'une corde	p72
2) Soleil	p73
3) Imitation de position de mains.....	p75
IV- Test-retest	p76
A- Résultats aux items du Subtest IV de WACS	p76
B- Résultats au Purdue Pegboard	p77
C- Résultats au logiciel Présentation	p78
1) Traitement des résultats	p78
2) Résultats pour la coordination en phase	p79
3) Résultats pour la coordination en antiphase	p79
4) Résultats concernant les modalités sensorielles de l'indiciage	p80
V- CONCLUSION	p81
VI- DISCUSSION	p83
BIBLIOGRAPHIE	p86
ANNEXES	p89

INTRODUCTION GENERALE

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'étude de cas. Lorsque je rencontre Camille sur mon lieu de stage en psychomotricité, je suis frappée par les difficultés importantes qu'elle rencontre lorsqu'elle mobilise ses mains. Camille présente en effet des mouvements parasites quand une seule main est engagée dans l'action, ainsi que des difficultés d'initiation et de régulation du mouvement lorsqu'elle utilise ses deux mains. En prenant connaissance de son dossier médical, je découvre qu'elle présente une agénésie partielle du Corps Calleux (CC), une malformation cérébrale qui peut largement impacter sur la régulation de la motricité bimanuelle.

Dans une première partie théorique, je propose de cerner davantage les mécanismes à l'œuvre dans le développement et l'acquisition de mouvements bimanuels de plus en plus complexes au travers d'études portant sur l'individu ordinaire. Le but étant de comprendre les contraintes auxquelles nous sommes confrontés dans le champ de la motricité bimanuelle. Par la suite, une présentation du CC et de son fonctionnement ainsi qu'un récapitulatif des connaissances concernant l'agénésie du CC, me permettront de pouvoir relier directement une partie de la symptomatologie de Camille à la malformation cérébrale qu'elle présente. L'ensemble de ces connaissances fourniront des indications quant à la prise en charge psychomotrice, spécifique à l'enfant présentant une agénésie du CC. La dernière partie théorique revient sur le principe d'indilage sensoriel externe, principe qui demeure aujourd'hui largement utilisé dans la rééducation de certains troubles moteurs pour favoriser et réguler la réponse motrice. Après être revenue sur les fondements théoriques et neuro-anatomiques de ce principe, je formulerai mes hypothèses concernant le bénéfice d'un apport d'informations sensorielles supplémentaires, véhiculé par un indilage externe pour Camille.

Dans une seconde partie consacrée à la pratique psychomotrice, je présenterai globalement Camille. Ensuite je la décrirai plus spécifiquement sur le plan psychomoteur et je dégagerai le projet de soin ainsi que des axes de travail prévus en psychomotricité. Dans un second temps je dresserai un compte rendu de la rééducation en décrivant les activités pratiquées, ainsi que les indilages employés pour favoriser la régulation du mouvement. Les phases de pré-test et de post-test me permettront de comparer les performances initiales et finales de Camille (c'est-à-dire avant et après la rééducation), et de tester le bénéfice potentiel de l'indilage sur la réalisation motrice. Pour terminer, je conclurai et discuterai de l'intérêt de l'indilage pour Camille.

PARTIE THÉORIQUE

Coordination bimanuelle, agénésie du corps calleux et indiçage externe

I

Les coordinations bimanuelles

A - Définitions

1) Les coordinations motrices

La notion de coordination se définit comme le « degré d'invariance spatiale, temporelle ou spatio-temporelle entre les déplacements des effecteurs d'une ou plusieurs chaînes musculaires agissant en synergie » (Fagard, 2001 p 358). Elle renvoie donc à une notion de mouvement engageant plusieurs muscles et agissant ensemble dans un même but. On peut alors classer les différents types de coordinations motrices en fonction du nombre d'éléments de mouvements qu'elles requièrent. Plus la coordination exigera de déplacements de segments corporels et plus elle sera qualifiée de complexe (Fagard, 2001).

2) Les coordinations bimanuelles

La coordination bimanuelle est une sous-catégorie des coordinations motrices. Elle renvoie à l'action conjointe des deux mains. La fonction respective de chaque main peut être indépendante (par exemple se frapper la tête d'une main tout en faisant des ronds sur son ventre de l'autre main), semblable et complémentaire (comme balayer) ou différente et complémentaire (planter un clou). Les coordinations bimanuelles sont caractérisées en fonction des relations spatio-temporelles entre les deux mains. Les relations spatio-temporelles sont appelées « patrons » (Kelso, 1984 cité par Fagard, 2001). On distingue ainsi (1) les patrons de coordination en phase ou en miroir c'est-à-dire les mouvements symétriques et synchrones, (2) les patrons de coordination en antiphase ou parallèles, c'est-à-dire les mouvements synchrones qui suivent la même direction dans le plan frontal (de gauche à droite et réciproquement) et les mouvements alternés réalisés dans le plan sagittal (d'avant en arrière et réciproquement). Enfin, on distingue (3) le patron de coordination asymétrique, c'est-à-dire les mouvements différents des deux mains (Kelso, 1984 cité par Fagard, 2001).

On considère qu'une coordination est acquise lorsqu'elle est maîtrisée, autrement dit lorsque sa réalisation est à la fois précise et stable (Fagard, 2001; Kelso, 1981; Kelso 1984). Lorsque la coordination produite correspond à la coordination requise, on dit qu'elle est précise. Enfin, lorsque la performance revient à l'état initial, malgré une perturbation (mécanique par exemple), la coordination est considérée stable (Kelso, 1995 cité par Tallet, 2008).

Il faut du temps à l'enfant avant qu'il puisse maîtriser les différentes coordinations bimanuelles. D'abord parce que le développement et la maîtrise de la motricité manuelle est tardive, mais aussi parce que la capacité à coordonner les deux mains nécessite la maîtrise d'un certain nombre de paramètres inhérents à la motricité bimanuelle. Avant de revenir sur le développement des coordinations bimanuelles, je propose de revenir sur les expériences menées par Kelso dès 1981, qui ont permis de mieux cerner les mécanismes mis à l'œuvre dans la motricité bimanuelle mature (chez l'adulte).

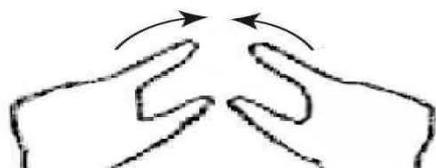
B - L'existence de deux patrons de coordination spontanés

Les travaux de Kelso (1981, 1984 cités par Fagard, 2001) sur les coordinations bimanuelles ont constitué la première mise en évidence expérimentale de coordinations spontanées chez l'homme. En effet, lors d'une épreuve libre de coordination de flexion/extension entre les deux index, Kelso et al. (1981) démontrent qu'il émerge spontanément deux patrons stables, chez tous les individus testés. Autrement dit, il existe dans la motricité humaine deux manières de «base» pour coordonner les différents mouvements des mains entre eux : il s'agit des patrons en phase et en antiphase (Figure 1). Excepté ces deux manières de coordonner les mains, aucune coordination bimanuelle ne peut être produite de manière stable, sans une pratique préalable (Zanone & Kelso, 1992, cité par Tallet, 2008). Lorsque la coordination bimanuelle consiste en une contraction synchrone des mêmes muscles au niveau des deux moitiés du corps (les muscles homologues), on parle de mouvements en phase. A l'inverse lorsque l'on demande aux individus d'exécuter des contractions alternées de muscles homologues, on parle de mouvements en antiphase (Kelso, 1984, cité par Fagard, 2001).

Figure 1: Illustration des patrons de coordination en phase (à gauche) et en antiphase (à droite) présents avant tout apprentissage, lors d'une tâche de coordination des index.

(Kelso, 1984, cité par Tallet, 2008 p 132)

Coordination en phase :



Coordination en antiphase:



Le patron en phase constitue le patron le plus stable. Schöner & Keslo, (1988, cité par Fagard, 2001) observent ainsi que si l'on augmente la fréquence de mouvement en partant du patron antiphase, le patron en phase réapparaît de manière automatique. En effet, si l'on demande à des adultes de taper avec leurs index en antiphase (de manière alternée) et d'en accélérer la fréquence, les individus ne peuvent empêcher la réapparition du patron en phase une fois passée une fréquence seuil. Ceci suggère que le patron en antiphase est moins stable que le patron en phase. A l'inverse, le patron en phase apparaît comme un « attracteur » puisqu'il réapparaît de manière involontaire, lorsque l'individu augmente la fréquence de ses mouvements.

C – Les contraintes inhérentes aux coordinations bimanuelles

Comme il a été évoqué précédemment, les coordinations bimanuelles peuvent être décrites à la fois par leurs caractéristiques spatiales et temporelles. Dans la réalité ces deux caractéristiques sont inséparables. Cependant, je les illustrerai séparément pour plus de clarté.

1) L'existence d'une contrainte temporelle

La tâche du télécran à l'origine utilisée par Preilowski, illustre bien la difficulté rencontrée par les individus pour apprendre à désynchroniser les mouvements bimanuels en phase. (Preilowski, 1975, cité par Fagard, 2001) Dans cette tâche, on demande à des adultes ordinaires de tracer des droites sur un écran placé devant eux, à l'aide de deux manivelles contrôlant respectivement l'axe des abscisses (X) et des ordonnées (Y). En combinant la vitesse des deux mains pour faire tourner les manivelles, les sujets font varier les angles de la ligne pour arriver à réaliser une droite. Dans une première condition, les individus doivent tourner les manivelles à la même vitesse. Il s'agit donc de synchroniser les mouvements des deux mains. Dans la seconde partie de l'expérience, on leur demande d'aller deux fois plus vite avec une main qu'avec l'autre (rapport de 2/1 entre la main droite et la main gauche). Il s'agit donc de désynchroniser les mouvements des deux mains.

Toutes les études reprenant cette tâche démontrent que les adultes parviennent immédiatement à réaliser la tâche lorsque celle-ci consiste à faire tourner les manivelles à la même vitesse. En revanche, lorsqu'ils doivent faire tourner deux fois plus vite une main que l'autre pour réaliser la droite demandée, les sujets ont besoin d'un temps de pratique pour parvenir à désynchroniser les deux mains et notamment en utilisant des informations visuelles (Fagard, 2001).

Fagard s'est plus particulièrement intéressée aux performances des enfants (Fagard et al, 1985, cité par Fagard, 2001). La tâche du télécran a été administrée à des enfants de 7 ans, dont la performance fut comparée à celles des adultes. A l'instar des adultes, les résultats des enfants démontrent que la condition «même vitesse» est nettement mieux maîtrisée que la condition «vitesse différente». D'autre part, la différence entre ces deux conditions est plus grande chez l'enfant, ce qui témoigne d'une plus grande difficulté à désynchroniser les mains. Enfin, les enfants sont plus dépendants des rétroactions visuelles pour parvenir à réaliser la tâche, ce qui suggère qu'ils se basent d'avantage sur les informations visuelles plutôt que sur les informations sensorielles issues du corps (kinesthésiques) pour réguler leur mouvement.

Les expériences de « tapping bimanuel rythmique » arrivent aux mêmes conclusions. Le tapping est une épreuve qui consiste à frapper avec les deux index (généralement) sur des capteurs de pression placés devant le sujet, et ce, de manière synchronisée, alternée ou selon des rythmes différents entre les deux mains (Fagard, 2001). Dans l'expérience de Wolf et al. (1998, cité par

Fagard, 2001), il est demandé à des enfants de 7, 9, 11, 13, 16 et 25 ans, de réaliser la tâche en condition synchrone, alternée ou asynchrone (rapport de 2/1 entre la main droite et la main gauche). Les différentes expériences utilisant le tapping démontrent qu'à tous les âges, la frappe synchrone enregistre le meilleur score. Elle est plus stable que la frappe alternée, elle même plus stable que la frappe asynchrone. Des progrès notables sont également relevés entre 7 et 11 ans.

D'après ces premières études, nous pouvons comprendre que le patron en phase est le plus stable, probablement par ce que ce patron impose une contrainte temporelle faible : les deux mains se déplacent à la même vitesse. Attachons-nous à présent à la contrainte spatiale.

2. Les contraintes spatiales

Frappez simultanément le haut de votre crâne avec une main, et de l'autre main effectuez des cercles sur votre ventre en continu. Vous observerez très vite que les deux mouvements sont imprécis, déformés et se ressemblent. Les cercles ont tendance à s'aplanir et la main qui frappe le haut du crâne effectue une trajectoire en courbe.

De la même manière, lorsque l'adulte doit tracer d'une main une droite, et de l'autre main un cercle, on observe que les tracés ont tendance à se ressembler : les cercles deviennent plus droits et les lignes se courbent. Encore une fois, c'est une coordination bimanuelle en phase qui prédomine. Les auteurs démontrent ici qu'il existe des contraintes spatiales qui expliquent la difficulté à réaliser deux mouvements différents de manière synchrone (Franz et al, 1991 cité par Fagard, 2001). Ainsi, des conflits inter-manuels émergent et se manifestent par des interférences sur les trajectoires des deux actions motrices (Stucchi & Viviani, 1993; Franz, 1997 cité par Fagard, 2001). Pourtant chaque mouvement est correctement réalisé lorsqu'il s'agit de l'effectuer isolément sur chaque main.

Fagard (1987, cité par Fagard, 2001) reprend la tâche du télécran et demande cette fois à des enfants de 5,7 et 9 ans de tourner les manivelles à la même vitesse, via des mouvements en phase ou en antiphase. Les résultats montrent que les mouvements en phase induisent des performances plus rapides et plus stables que les mouvements en antiphase. Encore une fois, la différence entre les deux conditions diminue significativement entre 7 et 9 ans, démontrant une meilleure intégration des commandes musculaires hétérogènes avec l'avancée en âge.

Les différentes expériences citées suggèrent que l'être humain préfère réaliser des mouvements bimanuels en phase et ce, depuis l'enfance. Ainsi l'enfant apprend progressivement à dépasser un certain nombre de tendances spontanées d'organisation (ou «couplage»), notamment celles de symétrie et de synchronie (Fagard 2001). L'intégration des relations spatio-temporelles entre deux mouvements semble être la cause des difficultés rencontrées pour apprendre des coordinations de plus en plus élaborées. En effet, plus les relations spatio-temporelles entre les deux mains s'éloignent du patron en phase, plus elles sont complexes et plus l'individu aura besoin d'un temps de pratique pour maîtriser la coordination.

L'habileté bimanuelle peut se travailler toute une vie, comme en témoignent les performances des musiciens et des virtuoses. Par ailleurs, il faut du temps à l'enfant pour que ce dernier entre dans le champ de la bimanualité et acquiert des coordinations efficaces. Nous rappellerons donc les prérequis au développement des coordinations bimanuelles.

D - Les prérequis au développement des coordinations bimanuelles

A la naissance, la motricité du nourrisson se caractérise par des réflexes archaïques et des postures innées. La motricité est principalement contrôlée par le système nerveux inférieur (système extra-pyramidal), elle apparaît comme automatique, stéréotypée ou explosive. A partir du 3ème mois de vie environ, sous l'effet des expériences et de la maturation nerveuse, la motricité du nourrisson est de plus en plus volontaire. Le système nerveux supérieur (système pyramidal) prend le dessus dans le contrôle de la commande motrice (Amiel Tison, 2005 cité par Colombié, cours de psychomotricité 2010/2011). Cependant il faudra du temps pour que la motricité intentionnelle du nourrisson, puis celle de l'enfant devienne comparable à celle de l'adulte.

La maîtrise tonico-posturale, notamment celle de l'axe du corps (du tronc) va permettre au nourrisson d'acquérir une liberté d'action des membres supérieurs, nécessaire à la manipulation d'objets. L'enfant n'attrape pas d'emblée la cible : on observe un comportement d'approche dirigé vers celle-ci, puis un comportement d'atteinte. Outre la question de la maturation des faisceaux nerveux de la motricité volontaire, et notamment du contrôle plus tardif des mouvements des mains et des doigts, les différentes études sur le nourrisson nous rappellent que les comportements d'approches puis d'atteintes de l'objet alternent entre unimanualité et bimanualité, en fonction de la maturation de la maîtrise posturale (Annexe 1 p 90).

L'âge de 9 mois marque une évolution importante dans le comportement visuo-moteur (capacité à coordonner l'œil et la main). A partir de cet âge, le nourrisson arrive à corriger la trajectoire de sa main pour atteindre une cible qui a changé de position, en se servant des informations visuelles en cours de mouvement (contrôle proactif). Le bébé anticipe également sur la saisie en fonction des caractéristiques visibles : il ajuste ainsi au préalable sa main à la taille de l'objet (Hofsten & Rönnqwist, 1988 cité par Fagard 2001), puis il l'oriente en fonction du positionnement de l'objet (Lockman et al, 1984, cité par Fagard, 2001). Vers 12 mois, la prise de la main s'ajuste à la forme (Pieraut-le-Bonniec, 1990, cité par Fagard, 2001). Par ailleurs, la maturation de la motricité distale permet à l'enfant d'expérimenter de plus en plus son environnement, tout en y effectuant des manipulations d'objets de plus en plus fines avec une main. Le nourrisson affine ainsi peu à peu le contrôle de sa motricité, ses perceptions et ses représentations (Fagard, 2001). Enfin, ce n'est qu'à partir de la fin de la première année, avec le développement conjoint de capacités cognitives, que l'enfant semble anticiper sur la manipulation d'objets requérant les deux mains (Fagard, 2001).

Fagard (2001) retient comme prérequis des manipulations (bi)manuelles:

- Le poids de l'expérience et de la maturation nerveuse en général. En effet avec le temps, la motricité du nourrisson devient de plus en plus volontaire et de plus en plus maîtrisée.
- Le contrôle postural de l'axe du corps : il permet en effet au nourrisson de pouvoir utiliser ses deux membres supérieurs indépendamment du tronc.
- Le développement de la motricité manuelle et digitale pour accéder à une manipulation de plus en plus fine. La motricité fine suit effectivement les mêmes lois de développement que la motricité globale (céphalo-caudale et proximo-distale). Le bébé parvient progressivement à mobiliser indépendamment ses doigts les uns des autres (dissociation digitale), et les capacités de motricité manuelle se superposent à celles de l'adulte aux environs de 12 mois, (Grassier, 1996, cité par Colombié, cours de psychomotricité 2010/2011).
- Le développement des capacités cognitives et du comportement visuo-moteur pour adapter et corriger les mouvements unimanuels ou bimanuels aux caractéristiques de l'objet.

Il faudra donc veiller à ce que ces différents facteurs soient optimums pour favoriser un travail sur les coordinations bimanuelles. Par ailleurs, il existe également des mouvements involontaires. Dans ce contexte, le développement de l'enfant permet une plus grande maîtrise de la motricité volontaire, en favorisant l'inhibition de ce type de mouvements.

E - Les syncinésies

1) Illustration et définition

Demandez à un enfant de 5 ans de faire la «marionnette» d'une seule main, et observez la main passive : vous la verrez sûrement se contracter et produire une ébauche de mouvement. Les syncinésies sont décrites comme des contractions ou des mouvements non volontaires, survenant sur un ou plusieurs groupes musculaires, alors qu'un mouvement intentionnel ou réflexe a lieu sur une autre partie du corps (Barral et al. 2009). Certains auteurs définissent plus particulièrement les syncinésies d'imitation, comme des mouvements ou des ébauches de mouvement observables sur le membre passif, opposé à celui qui est engagé dans l'action (Ajuriaguerra et Stambak 1955, cité par Barral et al, 2009). Ceci ne va pas sans rappeler la configuration de la coordination en miroir, qui est adoptée spontanément par tout individu produisant des mouvements bimanuels. La motricité unimanuelle se voit donc également marquée par le phénomène d'attraction pour la symétrie et la difficulté de s'en défaire (Barral et al, 2009). Par extension, la réalisation de mouvements bimanuels pourrait donc être entravée, à cause des syncinésies. Mais dans quel cadre apparaissent-elles?

2) Populations présentant des syncinésies

Les syncinésies d'imitation se rencontrent à différents âges, dans différentes situations mais aussi dans certaines populations et cadres nosologiques. Dans chaque contexte, elles prennent une signification spécifique (Barral et al, 2009).

Dans le cadre de la pathologie, on peut rencontrer les syncinésies dans certaines maladies génétiques ainsi que chez des sujets présentant des signes focaux (c'est-à-dire des symptômes neurologiques résultants d'une atteinte localisée du cerveau). Les syncinésies sont par ailleurs observables dans plusieurs troubles développementaux, comme dans par exemple le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (Mostofsky et al, 2003, 2006, cité par Barral et al, 2009), ou dans le cadre de troubles neurologiques et psychiatriques, tels que la Maladie de Parkinson (Espay et al, 2005, cité par Barral et al, 2009). Dans ces cas, les mouvements parasites prennent une valeur de signes neurologiques doux. Selon Corraze, (1999, cité par Barral et al, 2009) les signes doux sont des signes neurologiques qui témoignent d'un dysfonctionnement cérébral d'ordre supérieur mais non de lésions; ils sont difficiles à actualiser, intermittents et leur interprétation amène à la discussion.

Les syncinésies s'observent habituellement chez le jeune enfant, lorsque celui-ci est engagé dans une activité unimanuelle. Leur fréquence et leur intensité diminuent avec la maturation, mais ce processus d'atténuation n'est ni linéaire ni homogène. En effet il existe une grande variabilité en fonction des individus, mais aussi en fonction des tâches réalisées (Stambak, 1960 ; Geerts et al., 2003; Geuze, 2004; Gidley Larson et al., 2007, cités par Barral et al, 2009). Cependant les syncinésies d'imitation diminuent fortement vers l'âge de 9 à 10 ans, pour disparaître vers 12 ans (Stambak, 1960 ; Conolly & Straton, 1968, cités par Barral et al, 2009). Leur disparition témoigne d'une certaine maturité neurologique (Wolff et al, 1983, cité par Fagard, 2001).

En 1961, Cernacek enregistre via un électromyogramme (EMG) l'activité électrique de fléchisseurs et d'extenseurs des deux mains chez l'adulte, lors d'une tâche unimanuelle (Cernacek, 1961, cité par Barral et al, 2009). En dépit d'une absence de mouvement de la main passive, il constate l'apparition d'une faible activité électrique (irradiation) au niveau de celle-ci. Elle s'accompagne également, d'une activité électrique au sein du cortex moteur contrôlant la main passive. L'irradiation apparaît, lorsque la main engagée dans l'action exécute un mouvement vigoureux.

Des recherches ultérieures ont permis de cerner que l'augmentation du niveau de contrainte (c'est-à-dire de la complexité de la tâche), la fatigue ou le recours à une activité impliquant une certaine force musculaire, constituent des paramètres susceptibles de provoquer l'apparition de syncinésies chez l'adulte (Armatas et al, 1996; Durwen et Herzog, 1992; Mayston et al., 1999, cités par Fagard, 2001). L'accompagnement d'un mouvement unimanuel par un mouvement miroir et involontaire de l'autre main, diminue au cours de l'enfance et n'apparaît (quasiment) plus cliniquement chez l'adulte, du fait d'un processus d'inhibition (Armatas, et al, 1994, cité par Fagard, 2001).

Plus récemment, d'autres chercheurs ont tenté d'expliquer l'origine des syncinésies au niveau neuro-anatomique. Les modèles explicatifs proposés sont particulièrement intéressants, notamment pour la coordination bimanuelle, puisqu'ils semblent démontrés qu'anatomiquement et fonctionnellement parlant, le corps humain soit «câblé» pour produire des mouvements symétriques.

3) Modèles explicatifs des syncinésies

Deux modèles explicatifs ont été mis en avant pour rendre compte de l'origine des syncinésies. Ils s'appuient sur les bases neuro-anatomiques de la motricité volontaire humaine. Ainsi, nous présenterons d'abord un rappel des voies de la motricité intentionnelle.

a- Le faisceau cortico-spinal ou voies pyramidales croisée et non croisée

Le faisceau pyramidal est un réseau de fibres nerveuses motrices reliant le cortex moteur primaire, lieu de programmation du déclenchement du mouvement, aux effecteurs (les muscles). Les fibres motrices croisent la ligne médiane dans la portion inférieure du tronc cérébral, on dit alors qu'elles « décussent ». Elles forment dans la moelle épinière, la partie latérale du faisceau cortico-spinal. En conséquence de cette décussation pyramidale, la programmation d'un mouvement par un hémisphère cérébral donne lieu à une réalisation du mouvement sur l'hémicorps controlatéral (moitié du corps opposée). Ainsi lorsque le cortex de l'hémisphère droit, programme un mouvement de la main, c'est la main gauche qui réalisera ce mouvement. Ce contrôle de l'hémicorps opposé à au lieu de sa programmation vaut plus particulièrement pour les muscles des mains (Victor & Ropper, 2001, cité par Barral et al, 2009). Le contrôle croisé de la motricité des mains est représenté en noir sur la figure 2.

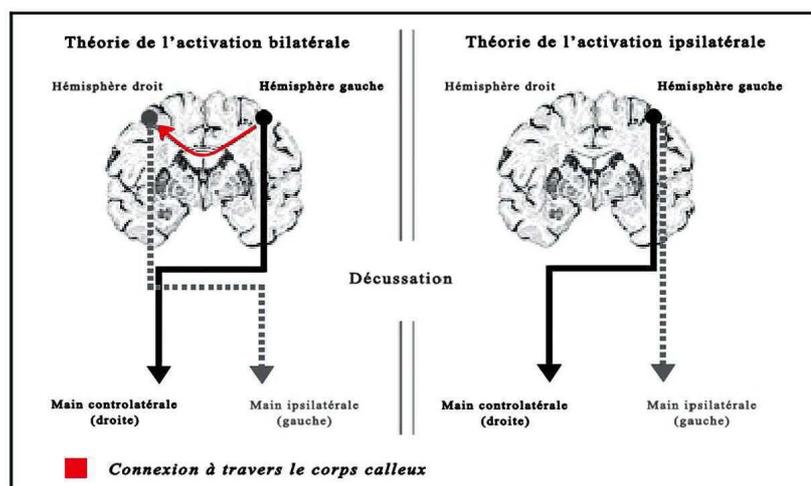
Une petite partie du faisceau cortico-spinal ne décusse pas au niveau du tronc cérébral et poursuit son trajet dans la moelle épinière. Il s'agit du faisceau cortico-spinal ipsilatéral, mis en jeu dans le contrôle de la posture et du maintien de l'équilibre. La réalisation d'un ajustement postural au niveau du tronc est donc contrôlé par l'hémisphère ipsilatéral (du même côté que le mouvement). Le contrôle non croisé de la posture et de l'axe du corps est représenté par le trajet en pointillé gris sur la partie droite de la figure 2.

La croissance et la maturation du faisceau cortico-spinal apparaissent tardivement dans l'embryogenèse, et se poursuivent ensuite dans les premières années de vie. Le faisceau cortico-spinal ipsilatéral régresse ensuite pendant l'enfance : son influence sur le tonus et la motricité diminuent.

b-Deux modèles complémentaires

On dispose de deux modèles complémentaires, mais non exclusifs pour comprendre l'origine des syncinésies (Barral et al, 2009). Ils sont représentés sur la figure 2 ci-dessous.

Figure 2 : Théories de l'activation bilatérale (à gauche) et de l'activation ipsilatérale (à droite)
(Schéma inspiré des études de Hoy et al (2004) et de Vuilemoz et al (2005), cité par Barral et al, 2009).



Le premier modèle fut proposé par Cernacek, il s'agit de la théorie de l'activation bilatérale (sur la partie de gauche de la figure 2). Cernacek formule l'hypothèse selon laquelle, la commande motrice d'un hémisphère exciterait via une connexion réalisée par le corps calleux (CC), les régions de l'aire motrice homologue controlatérale (c'est-à-dire contrôlant les mêmes muscles sur l'autre partie du corps) (Cernacek, 1961 cité par Barral et al, 2009). Cette excitation de l'hémisphère opposé engendrerait chez l'adulte, l'activité résiduelle enregistrée sur la main controlatérale. Le second modèle, la théorie de l'activation ipsilatérale est proposé par Hoy et al. (Hoy et al, 2004, cité par Barral et al, 2009). Ici, c'est la commande motrice elle-même qui pourrait irradier le faisceau non croisé de la motricité volontaire, et de ce fait provoquer l'activité résiduelle enregistrée au niveau de la main ipsilatérale.

L'étude des syncinésies d'imitation apporte un nouvel argument pour rendre compte des difficultés inhérentes au contrôle des coordinations bimanuelles. En effet, la difficulté de découpler un mouvement miroir relèverait de facteurs spatio-temporels, mais aussi d'une certaine symétrie de l'organisation neuro fonctionnelle humaine. Ces deux modèles sont complémentaires, mais en quoi? La théorie d'activation bilatérale de Cernacek attire tout particulièrement notre attention sur le CC. Quelle est sa fonction?

II Le Corps calleux (CC)

INTRODUCTION

Nous venons de voir que l'anatomie neuromotrice du corps humain présente une symétrie qui semble corrélée à la tendance «de base» de la motricité humaine à exercer des actes symétriques. Or, les études portant sur la dominance hémisphérique démontrent nettement une fonctionnalité différenciée et complémentaire des deux hémisphères cérébraux. Comment le corps humain gère-t-il cette différence entre une symétrie neuro-fonctionnelle et une asymétrie corticale?

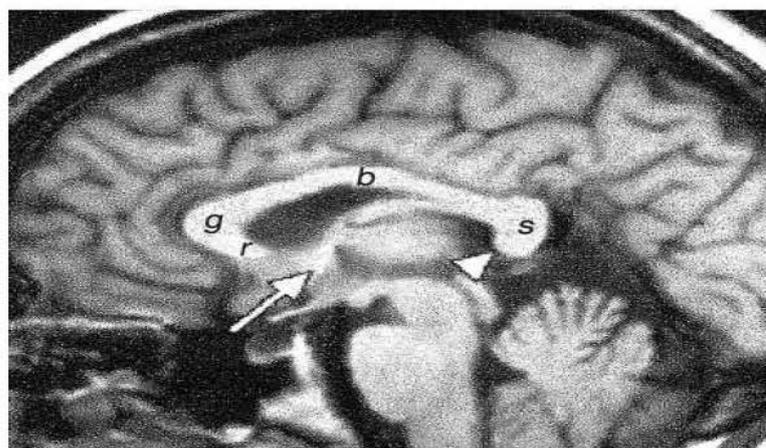
Les effets asymétriques de lésions cérébrales, comme celles situées dans l'aire de Brocca ou de Wernicke, ont permis de constater que les deux hémisphères cérébraux ne sont pas identiques malgré une apparente symétrie. En effet les deux hémisphères contrôlent et traitent préférentiellement certains aspects du comportement. On sait aujourd'hui que le « cerveau » gauche est spécialisé dans le traitement du langage. Il prend plus particulièrement en charge le lexique, la syntaxe, la production de parole et leur compréhension, en somme toute information langagière précise. Il intervient également dans le traitement séquentiel d'une action (déroulement temporel) et fonctionne de façon analytique, rationnelle et logique (Trope et al, 1992, cité par Verstichel & Degos, 2000). L'hémisphère droit quant à lui intervient préférentiellement dans le traitement visuo-spatial, l'imagination. Au niveau du langage, il intervient dans les processus d'associations de mots et permet d'accéder à des connaissances sémantiques voisines qui sont rattachées à des données précises (Cambier, 1982, cité par Verstichel & Degos, 2000). Il procède de manière globale, associative et intuitive (Trope et al, 1992, cité par Verstichel & Degos, 2000). La différence et la complémentarité des deux hémisphères rendent possibles de nombreux actes et pensées élaborées. L'intégration des informations provenant des deux hémisphères est donc fondamentale pour que l'individu perçoive son environnement de la manière la plus complète possible et produise une réponse homogène, coordonnée et adaptée à la situation. Cet échange est assuré par des formations cérébrales nommées commissures inter-hémisphériques. On retrouve ainsi principalement la commissure blanche antérieure, la commissure blanche postérieure et la plus volumineuse, le corps calleux (CC) (Verstichel & Degos, 2000).

Pour présenter le CC, nous commencerons par une description anatomique. Nous exposerons ensuite les études relatives aux fonctions du CC.

A-Anatomie descriptive

Sur une coupe sagittale médiane du cerveau (figure 3), le CC apparaît comme une structure dense et épaisse en forme de C, à concavité inférieure (voir image IRM). D'avant en arrière, on compte quatre portions: le «bec» ou rostrum (r), le «genou» (g), le «corps» ou tronc (b), et enfin le splénium (s) (Velut et al. 1998, cité par Chouchane et al, 1999).

Figure 3 : Image du CC en coupe sagittale médiane du cerveau
(Image IRM en séquence T1 du cerveau montrant les commissures cérébrales normales avec un corps calleux bien formé, tiré de Gatcho Ngouze, 2007, p 24)



Le CC est formé de substance blanche, (c'est-à-dire de fibres nerveuses ou d'axones neuronaux et de corps cellulaires). Il s'agit d'un faisceau d'environ 250 millions fibres nerveuses issues du cortex cérébral. La majorité de ces fibres nerveuses relie des points symétriques du cortex entre eux, (on parle de fibres homotopiques) c'est-à-dire que le CC relie des aires corticales qui assurent la même fonction et gèrent les mêmes muscles. Une moindre partie des axones callosaux réunissent des régions asymétriques du cortex (fibres hétérotopiques), qui semblent néanmoins participer à des activités fonctionnelles semblables. Le CC réunit ainsi les aires motrices secondaires entre elles (aires motrices supplémentaires et cortex prémoteurs), régions responsables de la préparation du mouvement ainsi que les aires associatives somato-sensorielles. Le CC relie également les cortex moteurs et somato-sensoriels primaires, mais seulement au niveau des pieds et des mains (Meyer et al, 1995; Ugawa et al, 1993, cités par Fagard, 2001)

On peut donc retenir de cette première description, que le CC relie les zones symétriques du cortex, notamment celles responsables de la préparation, du déclenchement et du contrôle des mouvements volontaires des mains.

B-Études de la Physiologie et des fonctions du corps calleux

Les performances des patients «à cerveau divisé» (Split Brain), c'est-à-dire les individus présentant des sections au niveau des commissures inter-hémisphériques (thérapeutiques chez l'homme et expérimentales chez l'animal) sont analysées via différents paradigmes expérimentaux.

1) Les investigations expérimentales du corps calleux

Le principe expérimental consiste à présenter un stimulus à un seul hémisphère par l'intermédiaire d'un dispositif approprié, dans une tâche nécessitant la coopération des deux hémisphères. On compare ensuite les résultats entre les individus présentant une agénésie du CC et les adultes ordinaires. Les résultats indiquent généralement que les individus lésés ne peuvent pas réaliser la tâche, ou ne peuvent l'exécuter que sur un hémicorps parce qu'il leur manque une part d'informations. Outre la grande variabilité des déficits observés entre les différents sujets, les études ont fait ressortir deux conséquences principales de la déconnexion inter-hémisphérique: il s'agit du syndrome de déconnexion sensori-motrice et de troubles des coordinations bimanuelles.

Dans un second temps, les études comparant le transfert inter-hémisphérique chez des adultes présentant une agénésie du CC et des individus ordinaires ont complété la connaissance des fonctions du CC. Pour s'assurer du transfert inter-hémisphérique dans des tâches sensori-motrices, les auteurs ont recours à une méthode nommée « différence croisé - non croisé » (DCNC), tirée du paradigme de Poffenberger (Poffenberger, 1912, cité par Fagard, 2001). Étant donné que les voies sensori-motrices sont toutes deux croisées, une réponse motrice ipsilatérale à un stimulus sensoriel ne demande qu'un traitement intra-hémisphérique (situation non croisée), alors qu'une réponse controlatérale au stimulus demande un échange entre les deux hémisphères. Les résultats en terme de temps de réponse des sujets lésés sont ensuite comparés à ceux du groupe témoin (DCNC comportementale). Enfin, les méthodes d'enregistrements comme la stimulation magnétique intracrânienne, l'électro-encéphalogramme (EEG), et l'électromyogramme (EMG) représentent des outils qui permettent de nous assurer qu'un trajet inter-hémisphérique s'est produit, via le déclenchement et l'observation directe de paramètres neurophysiologiques (DNC physiologique).

Nous commencerons par présenter globalement les différentes fonctions du CC qui ont émergées grâce à l'étude du syndrome de déconnexion sensori-motrice.

2) Les mécanismes d'action et fonctions du corps calleux

Les différentes recherches du XXe siècle portant sur les échanges inter-hémisphériques s'accordent pour admettre que ces transferts sont de nature activatrice et inhibitrice (Bloom & Hynd, 2005, cité par Barral 2009). Ces mécanismes permettent au CC de remplir plusieurs fonctions. Le CC transmet ainsi les informations d'un hémisphère à l'autre et permet de coordonner l'activité de chaque hémisphère, lors d'une tâche engageant simultanément les deux hémisphères cérébraux (activité bilatérale).

a-Fonction de transmission d'informations

Grâce au CC, nos hémisphères peuvent échanger en permanence des informations. En effet, il est communément admis que les deux hémisphères travaillent conjointement lorsque l'individu est engagé dans une tâche complexe. Les informations échangées relèvent de différentes natures: sensorielles, motrices et sémantiques (cité par Verstichel & Degos, 2000). La question de l'implication du CC dans le transfert d'apprentissage révèle qu'il intervient, conjointement avec d'autres commissures inter-hémisphériques dans ce processus (Gazzaniga et al. 1987, cité par Verstichel & Degos, 2000). De la même manière, il semble que le CC soit essentiel pour certaines tâches de transfert inter-hémisphérique, mais pas de façon égale pour toutes les tâches, ni toutes les composantes d'une même tâche (Crespel, 2007).

Le CC transfère les informations recueillies vers leur hémisphère spécialisé pour être traitées et perçues correctement. Sans ce traitement spécifique, l'individu ne pourrait pas produire de réponse adaptée à l'ensemble de la situation. Le CC permet ensuite l'acheminement inverse des informations, en transférant les nouvelles données vers l'aire qui contrôle l'exécution de l'action. Sans ce cheminement inverse, l'action ne pourrait être déclenchée.

b-Fonction de coordination des deux hémisphères

Toujours dans le cadre de situations complexes, le CC coordonne et module l'activité de chaque hémisphère dans les actions bilatérales. La notion de coopération hémisphérique permet d'accéder à un champ sensoriel unifié, mais également à des connaissances sémantiques ou procédurales se rapportant à la situation. Elle permet aussi de coordonner une réponse motrice mobilisant les deux hémicorps. Elle intervient donc dans la production d'un comportement optimum face à une situation (Fagard, 2001; Verstichel & Degos, 2000). En tant que coordinateur des

informations entre hémisphères, le CC joue un rôle particulièrement important dans les coordinations bimanuelles complexes.

Cependant les résultats corrects de jeunes individus présentant une agénésie du CC dans diverses tâches de transfert inter-hémisphérique suggèrent que les transferts peuvent s'effectuer au sein d'autres commissures inter-hémisphériques, d'autres voies, ou encore à un niveau sous-cortical pour des stimuli simples (Fagard, 2001). Par ailleurs, il existe des stratégies de compensations que les individus utilisent spontanément dans leurs environnements habituels, pour présenter l'information aux deux hémisphères. Dans le cas d'une déconnexion sensori-motrice visuelle, les sujets peuvent par exemple effectuer des mouvements de tête et des saccades oculaires pour que l'information soit perçue par les deux yeux. On retrouve ainsi la notion de plasticité cérébrale et de compensation comportementale (Fagard, 2001). La mise en évidence de troubles du transfert inter-hémisphérique s'effectue donc dans des situations expérimentales restrictives.

Nous proposons à présent de revenir plus en détails sur la fonction du CC dans le domaine des coordinations bimanuelles, notamment au travers d'études expérimentales où l'on compare les performances et les enregistrements physiologiques entre adultes ordinaires et individus présentant une agénésie du CC.

3) CC et coordination bimanuelle

L'agénésie du CC correspond à une malformation cérébrale du CC. Les performances dans le domaine de la motricité unimanuelle et bimanuelle des individus présentant cette malformation ont été largement étudiées. Divers troubles en lien avec une incoordination motrice ont été mis en évidence.

a- Troubles de la motricité manuelle et bimanuelle

Preilowski compare les performances d'individus présentant une agénésie du CC à celles d'individus ordinaires à la tâche du télécran (décrite p 13) (Preilowski, 1975, cité par Fagard, 2001). Il propose différentes conditions de passation, à savoir «même vitesse», «vitesse différente», et «avec ou sans contrôle visuel». Preilowski conclut que les adultes présentant une agénésie du CC progressent très peu et très lentement par rapport aux individus ordinaires. Seule la condition «même vitesse» est réussie, mais de façon lente et imprécise. De plus, ils sont incapables de

désynchroniser leurs deux mains sans la participation de la vision. Cette indépendance à l'égard du contrôle visuel pour l'action suggère que les individus présentant une agénésie du CC sont en difficulté pour utiliser les informations sensorielles internes issues de leur corps (proprioceptives, kinesthésiques) en vue de réguler la coordination. Ces résultats montrent également que les capacités d'apprentissage des individus présentant une agénésie du CC se trouvent limitées. Tuller et Kelso remarquent de la même manière que les sujets agénésiques gardent une attraction forte pour les couplages symétriques et synchrones (Tuller et Kelso, 1984, cité par Fagard, 2001). Par ailleurs, une asymétrie entre main gauche et main droite est retrouvée dans une tâche de tapping unimanuel. (Kreuter et al, 1972, cité par Crespel, 2007) : les adultes présentent en effet une lenteur au niveau de la main gauche, ainsi qu'une difficulté à reproduire un rythme de tapping avec cette même main.

Retenons que l'atteinte du CC engendre diverses caractéristiques qui semblent restreindre les capacités d'apprentissage des coordinations bimanuelles. Cette malformation cérébrale provoque entre autres des difficultés pour désynchroniser les mouvements des deux mains. La production de mouvements bimanuels alternés, qui implique que les mains se déplacent l'une après l'autre devrait donc en théorie se trouver limitée. Revenons à présent plus en détails sur l'action du CC dans le domaine des coordinations bimanuelles chez l'adulte ordinaire.

b- L'action du CC dans la genèse des mouvements symétriques et synchrones complexes

Le CC semble être impliqué dans le cas précis de mouvements bimanuels en miroirs complexes. Dans ce cadre seulement, il transmettrait la commande motrice d'un hémicorps à l'autre moitié du corps. (Vuilemoz et al. 2005, Hoy, 2004, cités par Barral et al, 2009). Le CC interviendrait, par exemple, dans la coordination des deux bras lorsque l'individu nage la brasse. En revanche, plusieurs expériences se basant sur l'analyse de paramètres physiologiques démontrent que le CC n'exerce aucune action facilitatrice dans le cadre de mouvements miroirs simples. Ainsi, une première étude conclue que le CC ne serait pas en jeu dans la genèse des syncinésies notées chez l'adulte ordinaire (Meyer et al, 1995, cité par Fagard, 2001). Une seconde étude démontre que le temps de réaction des deux mains suite à une stimulation corticale unique, est inférieur au délai de transfert-inter-hémisphérique à travers le CC (Armassian & Cracco, 1987, cité par Fagard, 2001). Cette dernière étude indique donc qu'aucune information motrice n'a été transmise à l'autre hémisphère par l'intermédiaire du CC avant la production de la coordination en phase. On peut donc retenir que le CC ne semble pas en jeu dans les mouvements bimanuels en miroirs simple. Ainsi, les

syncinésies observées sur le membre passif de l'adulte lorsque celui-ci exécute un bras de fer par exemple ne sont pas dues à l'action du CC. De la même manière, la réalisation volontaire de flexions et d'extensions au niveau des index de manière synchrone ne requiert pas d'intervention du CC. La transmission de la commande motrice pourrait s'effectuer par une voie sous-corticale ou directement par la voie cortico-spinale ipsilatérale (Meyer et al, 1995, cité par Fagard, 2001; Vuillemoz, 2005 cité par Barral et al, 2009)

En dehors des mouvements bimanuels miroirs complexes où il exercerait une fonction activatrice, le CC présente une action essentiellement inhibitrice.

c- L'action inhibitrice du CC

Ainsi des chercheurs émettent l'hypothèse que la réalisation de coordinations bimanuelles non symétriques est rendue possible par les échanges inter-hémisphériques du CC, via des messages principalement inhibiteurs (Geffen et al, 1994, cité par Barral et al, 2009). En effet, Cook démontre via l'EEG que la stimulation d'une zone du cortex d'un hémisphère entraîne une inhibition prolongée de la région corticale homotopique. Il suppose que cette inhibition résulterait du CC (Cook, 1986, cité par Fagard, 2001). Plus récemment d'autres chercheurs ont confirmé cette hypothèse en comparant des données neurophysiologiques d'individus présentant une agénésie du CC à celles d'adultes ordinaires. Il semble en effet que le CC limite l'activation de la main passive, suite à la stimulation corticale de la main engagée dans l'action (Meyer et al 1995, cité par Fagard, 2001). Dans le contexte des mouvements unimanuels, l'inhibition du CC interviendrait en partie pour limiter l'action de la main passive. De la même manière, dans le cadre de mouvements bimanuels non symétriques, l'action inhibitrice du CC limiterait la probabilité de produire un patron de coordination bimanuel en phase (non volontaire), en empêchant la transmission d'informations relatives à la commande motrice d'une main à l'autre main. Le CC participe donc au phénomène d'indépendance manuelle entre les mouvements des deux mains.

Retenons que l'action principalement inhibitrice du CC favorise le découplage des muscles homologues et participe ainsi à l'indépendance des deux mains. Nous avons vus précédemment que des contraintes de symétrie et de synchronie interfèrent sur l'exécution de coordinations bimanuelles complexes. Quel rapport existe entre le CC et les contraintes précédemment citées?

d- Le découplage spatio-temporel des mouvements bimanuels

L'expérience menée par Franz et al a confirmé l'idée selon laquelle le CC coordonnait les mouvements bimanuels où les trajectoires des deux mains sont différentes (avec une plus ou moins grande efficacité) (Franz et al, 1996, cité par Gazzaniga et al, 2001). Elle a également permis de pointer que le mécanisme de contrôle de la synchronisation des deux mains est différent du contrôle spatial des mouvements asymétriques.

La tâche consiste en une copie de deux figures en simultané. Deux figures sont projetées rapidement sur un écran placé devant le sujet. Ce dernier doit reproduire sur une feuille de la main gauche la figure projetée à gauche sur l'écran, et avec sa main droite la figure de droite. La présentation brève du stimulus a pour but de garantir qu'il ne soit présenté qu'à un seul hémisphère au patient « au cerveau divisé » (le sujet sain compense du fait de la transmission transcallosale). Lorsque les deux stimuli sont présentés dans une configuration spatiale symétrique, tous les sujets effectuent la tâche sans difficulté, car elle implique d'effectuer des mouvements bimanuels en phase. En revanche, lorsque les figures sont présentées dans une configuration perpendiculaire, elles nécessitent des mouvements différents entre les deux mains. Dans ce cas, seuls les individus ordinaires sont en difficultés : des interférences sur la trajectoire respective de chaque main sont constatées. La complexité de la tâche et l'absence de pratique au préalable expliquent la survenue de ces interférences. Au contraire, les patients présentant une déconnexion inter-hémisphérique produisent la tâche sans difficulté car du fait de l'absence de connexions à travers le CC, aucune interférence entre les deux trajectoires ne peut avoir lieu. Phénomène plus surprenant encore, les deux mains sont couplées au niveau temporel : elles démarrent et terminent en même temps l'exécution des mouvements. Autrement dit, elles demeurent dépendantes au niveau temporel. Franz conclut ainsi que les aspects spatiaux des coordinations manuelles sont véhiculés et coordonnés par des traitements transitant via le CC, mais que la synchronisation des deux mains ne semble pas dépendre de l'action du CC.

L'agénésie du CC provoque une différence en termes de relations spatio-temporelles entre les deux mains par rapport aux individus ordinaires dans l'exécution des coordinations bimanuelles asymétriques. Ainsi cette expérience montre que les individus « au cerveau divisé » peuvent effectuer sans pratique au préalable, deux actions motrices simultanées où les trajectoires sont divergentes. Néanmoins, on retrouve la notion d'incapacité à désynchroniser les mouvements des

deux mains évoquée précédemment. Nous pouvons donc supposer que le CC intervient de manière différente (plus ou moins directement) dans la gestion des contraintes à la fois spatiales et temporelles d'une coordination bimanuelle non symétrique.

Le CC se développe tardivement par rapport aux autres structures cérébrales. Etant donné qu'il participe au phénomène d'indépendance manuelle, nous verrons que sa maturation tardive semble corrélée au développement des coordinations bimanuelles chez l'enfant entre 7 et 11 ans.

C - Embryogenèse et maturation calleuse

1) Embryogenèse et développement du CC

La formation du CC se déroule pendant la vie intra utérine : elle débute dès la 11^{ème} semaine de gestation et s'achève vers la 20^{ème}. La superficie du CC fait plus que tripler au cours de la vie de l'individu (Rakic et Yakovlev, 1968, cité par Fagard, 2001). Le CC se développe en trois phases : d'abord pendant un stade fœtal où la croissance est la plus importante, puis pendant une période allant de la naissance jusqu'à environ 2 ou 3 ans. Le CC continue ensuite de grossir jusqu'à l'âge adulte (Witelson 1988, cité par Fagard, 2001). La croissance est en revanche de plus en plus discrète (Rauch & Jinkins, 1994, cité par Fagard, 2001). La myélinisation des axones transcallosaux débute tardivement par rapport aux autres fibres corticales. Elle se développe durant toute l'enfance puis ralentit aux alentours de 7-10 ans (Yakovlev & Lecours, 1967). Selon certains auteurs, elle se poursuivrait jusqu'à 18 ans (Giedd et al, 1996, cité par Barral et al , 2009).

2) Myélinisation et hypothèse d'un meilleur transfert inter-hémisphérique

La myélinisation consiste en un processus de maturation des fibres nerveuses. Elle correspond à la mise en place de couches successives de myéline. Plus la gaine de myéline se développe et plus la conduction des influx nerveux est rapide. Ce principe s'applique également aux fibres transcallosales (Seggie & Berry, 1972, cité par Fagard, 2001). D'autre part, la myéline confère une meilleure isolation des axones neuronaux les uns des autres. Le développement de la gaine de myéline autour des fibres transcallosales favoriserait donc une conduction plus rapide et de meilleure qualité des informations inhibitrices (et activatrices) entre les deux hémisphères (Barral et al, 2009). Différents auteurs considèrent alors que la maturation du CC favoriserait ainsi le développement des coordinations bimanuelles chez l'enfant.

3) Maturation calleuse et développement des coordinations bimanuelles

Fagard et al. émettent l'hypothèse selon laquelle avec l'avancée en âge, la diminution du temps de transfert inter-hémisphérique serait en lien avec les progrès des coordinations bimanuelles non symétriques chez l'enfant (Fagard et al, 2001, cité par Fagard, 2001). Ainsi lors d'une étude portant sur des enfants de 3 à 10 ans, les auteurs démontrent que la diminution du temps de transfert inter-hémisphérique est corrélée au développement des mouvements non symétriques. La capacité « d'échapper » à la contrainte de symétrie et de synchronie semble donc liée à l'efficacité des mécanismes d'inhibition des muscles homologues à travers le CC. Cette hypothèse a également été évoquée dans des travaux récents (Deboard Marion et al, 2003, cité par Barral et al, 2009).

Les études de Robertson (2001) portant sur l'enfant et l'adulte ordinaires ont permis de cerner l'importance de facteurs intrinsèques influençant l'acquisition de coordinations bimanuelles. Ces facteurs sont en lien avec des caractéristiques générales de l'apprentissage moteur et la maturation cérébrale.

D - Étude de la stabilité des coordinations bimanuelles en fonction de la répétition et de la maturation nerveuse.

Les études de Robertson ont mis en exergue les paramètres intrinsèques (c'est-à-dire liés à la tâche, au sujet et à son environnement), qui influencent la production des coordinations bimanuelles.

L'auteur analyse ainsi les performances d'adultes et d'enfants d'âge différents au moyen de deux tâches, où il fait varier le nombre d'essai et la vitesse d'exécution des coordinations. Il observe principalement les modes de coordination préférés des sujets et étudie les transitions de patrons vers des patrons plus stables (attracteurs), lorsque les sujets sont en difficulté pour réaliser la tâche. L'analyse expérimentale des performances se base sur l'analyse de la phase relative (voir Annexe p 99). Cette donnée nous renseigne précisément sur la stabilité et la précision d'une coordination bimanuelle. Les résultats montrent que la stabilité d'une coordination augmente de manière générale avec l'avancée en âge de l'enfant. D'autre part, la durée d'entraînement influence largement les performances : plus l'adulte ou l'enfant expérimente la coordination et plus il progresse rapidement.

La répétition est donc un facteur à prendre en considération dans l'apprentissage. Par ailleurs, la vitesse d'exécution de la coordination et l'attention portée à la réalisation semblent particulièrement déterminantes pour les enfants les plus jeunes (4 ans). En effet, l'augmentation de la vitesse de réalisation ne déstabilise que les patrons peu stables. Sachant que ce sont les enfants de 4 ans qui présentent majoritairement des patrons de coordinations instables, ils sont donc déstabilisés par l'augmentation de vitesse. Concernant l'attention, on sait que le jeune enfant éprouve également des difficultés pour maintenir et répartir son attention sur une tâche, et ce même si l'activité est de courte durée (Anslin et Cinffredo, 1982, cité par Robertson, 2001). Robertson constate effectivement un manque de contrôle visuel constant sur la tâche pour les enfants de 4 ans. Cette observation confirmerait donc l'idée selon laquelle, des ressources attentionnelles suffisamment développées sont nécessaires pour stabiliser un patron de coordination (Fitzpatrick et al.1996, cité par Robertson, 2001).

On comprend donc pourquoi la stabilité des coordinations augmente avec l'avancée en âge, si l'on suppose que les processus attentionnels évoluent avec le temps et que les possibilités de répétition d'une action s'accroissent également avec le temps. L'importance des répétitions soulignent le rôle des interactions avec l'environnement dans le cadre du développement et de l'apprentissage des coordinations bimanuelles.

E - Conclusions

En conclusion, on peut retenir que les progrès notés en coordination bimanuelle pendant l'enfance relèvent de la maturation du système nerveux en général, et plus spécifiquement de la maturation des mécanismes d'inhibition motrice.

En premier lieu, le processus de maturation cérébrale permet à l'enfant de maîtriser davantage les mouvements de ses mains et de ses doigts. De plus, la maturation des échanges inter-hémisphériques permettrait d'optimiser les processus d'inhibition motrice retrouvés au sein du CC, qui nous permettent d'engager simultanément nos mains dans des actions différentes. Par ailleurs l'évolution des mécanismes d'inhibition qui interviennent dans d'autres structures serait corrélée à la maturation des aires corticales (notamment du cortex préfrontal, lieu de la planification de l'action et de l'inhibition comportementale). Ainsi, dans le cadre des syncinésies, Barral et al, (2009)

supposent que le contrôle de l'immobilité de la main passive est en lien avec le développement de l'inhibition cognitive et comportementale (capacité à inhiber un comportement automatique). Le développement de l'inhibition comportementale participerait donc également au phénomène d'indépendance manuelle. De manière globale, les processus attentionnels sont nécessaires au développement des coordinations bimanuelles. En effet, la maturation cérébrale permet probablement au système nerveux une meilleure attribution et répartition des ressources cognitives, notamment attentionnelles (Barral et al, 2009). L'étude de Robertson (2001) quant à elle, souligne l'importance de l'entraînement pour stabiliser une coordination.

D'autre part, le cheminement de ce mémoire tente d'expliquer en partie les troubles de la motricité manuelle chez les individus présentant une agénésie du CC. Ainsi, les difficultés rythmiques et la lenteur d'exécution notées sur la main gauche sont à mettre en relation avec le défaut de transfert d'informations de l'hémisphère gauche, responsable du contrôle temporel et séquentiel de l'action vers l'hémisphère droit (Kashiwagi et al, 1989 cité par Fagard, 2001). On comprend également mieux pourquoi les individus qui souffrent d'une agénésie du CC gardent une attraction forte pour le couplage temporel de muscles homologues (Tuller & Kelso, 1984, cité par Fagard, 2001) car ce contrôle ne transite pas par le CC. La difficulté de désynchronisation des deux mains n'est cependant pas encore clairement explicitée. Mais on peut sans doute penser que les individus intègrent différemment les relations spatio-temporelles des coordinations bimanuelles, d'où la présence de difficultés.

Nous proposons à présent de revenir sur les manifestations cliniques de l'agénésie du CC afin de relier les symptômes de manière globale de Camille à la malformation cérébrale qu'elle présente. Pour commencer, nous présenterons d'abord de façon générale l'agénésie du CC.

III

Agénésie du Corps calleux (ACC)

A - Définitions, terminologies des pathologies du CC et pronostic

1) Agénésie complète, agénésie partielle et dysgénésie

L'ACC constitue la première malformation commissurale. Elle correspond à l'absence de CC au sein du système nerveux. Elle peut être due à un défaut survenant lors (1) de la corticogénèse (neurones calleux non différenciés), ou lors (2) d'une des étapes de la formation calleuse (développement entravé des neurones callosaux), ou encore (3) à la suite d'un remaniement anarchique du réseau de fibres du CC, en rapport avec une anomalie corticale (Gelot et al, 1998; cité par Soto Ares et al, 2007). L'hypoplasie calleuse renvoie quant à elle à un arrêt de développement du CC, survenant lors de n'importe quelle phase de son développement. Elle regroupe sous cette dénomination, les termes d'«agénésie partielle» faisant référence à l'absence plus ou moins importante d'une partie du CC, et de «dysgénésie» calleuse renvoyant à une anomalie structurale du CC, que celui-ci soit entièrement formé ou non (Soto Arès et al, 2007).

2) Pronostic

Actuellement, on dispose de plus de données cliniques et expérimentales sur l'ACC totale que sur les agénésies partielles ou encore les dysgénésies. Les conséquences fonctionnelles d'une absence complète sont variées. Elles sont d'autant plus sévères et délétères, que l'ACC est associée à une ou plusieurs autres malformations (Martinez-Friaz et al, 1995, cité par Soto Arès et al, 2007). En effet, 50 à 85% des formes recensées s'accompagnent d'autres anomalies, notamment de malformations cérébrales et extra-cérébrales (Gupta et al, 1995; Parrish et al, 1979; Talmant et al, 1995, cités par Chouchane et al, 1999). Mais l'ACC peut tout aussi bien être asymptomatique, la question du pronostic, notamment anténatal demeure donc délicate. Un ensemble de travaux médicaux se développent ces dernières années afin de trouver des marqueurs biologiques permettant aux praticiens de conseiller au mieux les parents dans le choix d'une éventuelle interruption volontaire de grossesse (Chouchane et al, 1999; Kieffer et al, 2005).

Concernant les agénésies partielles, la fréquence de malformations associées et leur pronostic clinique sont décrits comme identiques en terme de fréquence aux agénésies totales (Mordefroid et al, 2004). Attachons nous à présent à la répartition de l'ACC au sein de la population.

B Prévalence et sexe

1) Prévalence de l'agénésie isolée du CC

La prévalence d'une pathologie correspond au nombre de cas recensé à un instant t. L'ACC constitue l'une des maladies cérébrales les plus fréquentes. Étant donné qu'il existe des formes asymptomatiques, sa prévalence exacte n'est pas connue. Les chiffres diffèrent également d'une étude à l'autre, en fonction des critères de dénomination des anomalies calleuses et de leur mode d'évaluation. Cependant la prévalence de l'ACC toute forme confondue (isolée ou non) toucherait de 1/150 à 1/2000 personnes (Moutard, 2007).

2) Prévalence dans certaines populations spécifiques

La prévalence semble plus élevée chez les enfants présentant un retard mental, on la retrouve ainsi entre 2 à 3% dans cette population (Glass et al, 2008, cité par Chiappedi et al, 2010).

3) Répartition selon le sexe

La répartition du sexe semble indiquer une prédominance des sujets masculins, on dénombre environ 63% de sujets masculins contre 37% de sujets féminins. Cette répartition se vérifie dans différentes études (Gatcho Ngouze, 2007).

L'ACC est fréquente. Comme il a été évoqué précédemment, elle semble liée à des incidents survenus lors du développement cérébral. Mais quelles en sont les étiologies ?

C- Étiologies

Les mécanismes de l'ACC sont encore mal connus. On suppose cependant que la malformation serait en lien avec l'une des trois étapes de la formation intra utérine du corps calleux. Des causes génétiques, métaboliques et environnementales ont été décrites. Dans les causes environnementales, on retrouve des infections, des inflammations ou des anomalies métaboliques contractées par la mère pendant la grossesse. L'exposition du fœtus à des toxiques peut également entrer en jeu. Enfin, une atteinte vasculaire cérébrale d'origine pré ou périnatale peut altérer le développement du CC (Chouchane et al, 1999).

Le diagnostic de l'ACC doit être effectué le plus précocement possible afin de suivre les enfants de la manière la plus adaptée. Le diagnostic précoce permet en effet de détecter et de prendre en charge les différents troubles relatifs à l'ACC, ainsi que de favoriser un accompagnement adapté aux particularités de ces enfants. Dans cette optique un certain nombre de signes cliniques à révélation précoce évoquant une maladie d'origine centrale, permettent en complément d'autres investigations de diagnostiquer en période post-natale une anomalie calleuse symptomatique. On peut ainsi distinguer les formes isolées, des syndromes où est associée l'ACC (Gatcho Ngouze, 2007).

D- Sémiologie de l'ACC

Parmi les signes d'appels précoces de l'ACC non isolée, l'hypotonie néonatale (bébé «mou») constitue généralement le premier symptôme de l'ACC. La présence de convulsions, de dysmorphie craniofaciale, de microcéphalie ou de macrocéphalie constituent d'autres signes d'appels précoces. Des signes neurologiques focaux, ou encore un ensemble malformatif complexe du système nerveux peuvent également être repérés (Gatcho Ngouze, 2007).

Concernant les formes isolées de l'ACC, un retard psychomoteur peut également s'installer : l'enfant acquiert plus lentement la station assise, ou debout, la marche etc... . Ce retard psychomoteur découle directement ou non de l'hypotonie (Moutard, 2007). Parmi les signes d'appels des formes isolées de l'ACC, on retrouve également l'épilepsie, la lenteur, ainsi que les troubles du comportement et le retard mental. L'entrée à l'école met généralement en lumière les difficultés d'apprentissage restées jusque là-latentes. La scolarité engendre donc le plus souvent la

découverte de l'anomalie. Les difficultés notées dans l'entrée des apprentissages sont liées aux particularités cognitives et comportementales associées à l'ACC, qu'elles relèvent d'un retard mental ou non (Moutard, 2007).

Nous venons de voir que l'ACC engendre différents symptômes d'appels non spécifiques, qui en complément d'analyse, orientent le diagnostic vers une ACC isolée ou non isolée. Il existe également un ensemble de manifestations cliniques en rapport avec des troubles, des pathologies ou encore des caractéristiques cognitives et comportementales pouvant être associées à l'ACC.

E-Troubles, maladies et caractéristiques associés:

Lorsque l'ACC n'est pas isolée, les manifestations cliniques qu'elle engendre varient en fonction du cadre nosologique dans lequel elles s'inscrivent et du degré de sévérité de l'atteinte calleuse (Moutard, 2007). Dans sa forme isolée, L'ACC peut être découverte de manière fortuite lors d'un scanner cérébral par exemple. Une évaluation neuropsychologique détaillée révèle néanmoins des déficits plus ou moins importants dans les fonctions supérieures, ainsi que les aptitudes sociales (Innocenti & Price, 2005 et Paul et al, 2007, cités par Chiappedi et al, 2010). Des troubles du comportement ou encore un déficit intellectuel peuvent ainsi se manifester avec l'avancée en âge de l'enfant (Innocenti & Price, 2005 cité par Chiappedi et al, 2010).

Deux types de troubles du comportement sont principalement rapportés, mais le rapport avec l'ACC n'est pas encore clairement défini (Moutard, 2007). Il peut s'agir d'un trouble attentionnel avec ou sans hyperactivité : l'enfant a du mal à se concentrer, est agité, passe d'une activité à une autre etc. les troubles du comportement peuvent également s'exprimer sous la forme d'un comportement de type autistique où l'enfant est replié sur lui-même et éprouve des difficultés de socialisation et de communication (Chiappedi et al, 2010).

Dans 75% des cas d'ACC isolées, les enfants présentent un quotient intellectuel dans la norme ou très légèrement inférieur à la moyenne. Cependant ces enfants manifesteront plus de difficultés d'apprentissages que les enfants sains. Ils seront plus lents dans leurs acquisitions, notamment en ce qui concerne le langage (Kieffer et al, 2005 ; Moutard, 2007). Pour les 20 à 25 % de cas restants, les enfants présentent un déficit intellectuel modéré à sévère.

Le retard mental

Le retard mental (RM) est défini dans le DSM IV-TR comme un «fonctionnement intellectuel général significativement inférieur à la moyenne, qui s'accompagne de limitations significatives du fonctionnement adaptatif». Le diagnostic s'établit entre autre lorsque le Quotient Intellectuel (QI) est inférieur ou égal à 70. Le profil des enfants est très hétérogène en fonction de l'étiologie, des symptômes cliniques et du pronostic. Cependant, les difficultés de compréhension du langage et de la situation en générale, provenant de difficultés pour catégoriser les informations, généraliser et consolider les acquis semblent caractéristiques du RM. Sur le plan du langage, il ne faut pas hésiter à utiliser un langage simple, à répéter, et à recourir à la démonstration. Le langage imagé et l'utilisation d'images sont par ailleurs appropriés pour faciliter la compréhension des consignes et des objectifs (Vincent, 2012). Une certaine « maladresse » sur le plan moteur est également rapportée. Des ruptures, des anomalies ou des retards compromettent ainsi fréquemment les acquisitions motrices de l'enfance. En cas de déficience sévère, le déficit moteur semble global et homogène. Le contrôle du geste demeure compliqué et la motricité manuelle se caractérise souvent par une mauvaise coordination. Des anomalies concernant le tonus sont aussi décelées (hypotonie, paratonies et syncinésies); elles expliquent en partie les difficultés de réalisation du mouvement. Enfin, la prise d'informations sur le corps (kinesthésiques) semble particulièrement compromise et provoque une perturbation de l'initiation et du contrôle des actes moteurs (Pezet, 2012). On peut donc penser que les difficultés de coordinations bimanuelles notées chez les enfants souffrant d'une ACC sont majorées par le RM (et inversement), lorsqu'il est associé à la malformation. Le principe d'affordance développé par Gibson où la perception guide l'action, apparaît adapté pour faciliter la prise en charge d'enfants présentant un RM (Vincent, 2012). Ainsi, en partant du principe que les différentes conditions de l'environnement fournissent les informations nécessaires à l'action, le praticien peut donc faire varier les conditions de l'environnement afin de faire émerger, ou de faciliter des comportements moteurs chez l'individu.

En fonction des différentes caractéristiques cognitivo-comportementales précédemment citées (troubles du comportement ou difficultés cognitives), les profils d'enfants seront hétérogènes au niveau de leurs capacités, de leurs difficultés mais aussi de leurs besoins. Pour rester cohérent avec la problématique spécifique de l'enfant, le projet de soin global et les différentes rééducations devront prendre en compte ces caractéristiques et proposer des prises en charge adaptées. Nous rappellerons brièvement les différents troubles découlant directement de l'anomalie du transfert inter-hémisphérique au sein du CC.

F-Caractéristiques directement en rapport avec le transfert inter-hémisphérique

Différentes études ont permis à Temple et al, de conclure que la spécialisation hémisphérique se développe en l'absence de CC, mais à un degré moindre, ce qui provoque certains déficits dans des tâches les plus latéralisées et amène à une latéralisation atypique (Temple et al, 1989, 1990, cités par Fagard, 2001). Comme nous l'avons déjà vu, des troubles du langage sont fréquemment retrouvés (Njiokiktjien, 1991, cité par Fagard, 2001). D'autre part, la préférence manuelle semble s'établir sans CC, même si elle présente des particularités dues à l'agénésie : une plus forte proportion de sujets gauchers est ainsi constatée par rapport à la population ordinaire (Chiarello, 1980; Sauerwein et al, 1994, cités par Fagard, 2001). Des syncinésies d'imitation particulièrement importantes sont fréquemment rencontrées (Denis, 1976, cité par Fagard, 2001). Cependant, il convient de rester vigilant : en effet certains auteurs rappellent que les mécanismes à l'œuvre dans les pathologies congénitales responsables de la genèse des syncinésies sont différents des processus impliqués chez la population ordinaire (Mayston et al, 2004, cité par Barral et al, 2009). Pour exemple, dans le syndrome de Kallman où les syncinésies sont telles qu'elles empêchent la réalisation de mouvements non symétriques, les manifestations parasites semblent dues à la fois à une co-activation corticale de la région stimulée (donc à un manque d'inhibition calleuse) mais aussi à la non régression du faisceau cortico-spinal ipsilatéral. Le faisceau ipsilatéral garderait ainsi une forte influence sur les mouvements des doigts.

Enfin en cas d'agénésie du CC, le temps de transfert d'informations visuo-manuelles est plus long de plusieurs dizaines de millisecondes que les individus ordinaires, ce qui suggère que le manque de transfert d'informations à travers le CC est compensé par d'autres voies (Jeeves et al, 1969, cité par Fagard, 2001). Or, on sait que la rapidité du transfert inter-hémisphérique est corrélée au développement de coordinations bimanuelles non symétriques (Fagard et al, 2001). Cette observation indiquerait ainsi que les adultes présentant des pathologies du CC manifestent une certaine lenteur pour coordonner et ajuster les informations entre l'œil et la main. Cette perturbation pourrait donc expliquer en partie la lenteur et les difficultés d'apprentissage que manifestent les individus présentant une ACC, lors de la réalisation de coordinations bimanuelles.

G- Récapitulatif servant à la prise en charge d'enfants présentant une ACC

Le cheminement de ce mémoire nous permet de mieux cerner l'intrication entre CC et coordination bimanuelle. Dans ce cadre, le CC inhibe les co-activations bilatérales pour lesquelles nous paraissions profondément « couplées » et participe ainsi au phénomène d'indépendance manuelle. D'une manière générale, ce sont les relations spatio-temporelles entre les deux mains qui sont en cause dans la difficulté de réaliser simultanément des gestes différents.

Nous pouvons également déduire des recherches théoriques qu'en principe, un enfant présentant une ACC ne devrait pas rencontrer de difficulté majeure pour synchroniser ses deux mains dans une coordination en phase. En revanche en regard des résultats de Preilowski, une lenteur d'apprentissage ainsi qu'une grande difficulté pour exécuter des mouvements alternés des mains devraient être observées. D'autre part, le développement des coordinations bimanuelles chez l'enfant ordinaire repose sur un certain nombre de prérequis, qu'il faudra travailler si Camille manifeste des difficultés dans ces domaines-là (contrôle et régulation tonico-posturale, comportement visuo-manuel et motricité digitale). De plus, les différentes études menées sur les enfants ordinaires nous permettent d'établir une hiérarchie de mouvements bimanuels de plus en plus à complexes à réaliser : mouvements miroirs, mouvements alternés, puis unimanuels puis mouvements asymétriques. Nous nous appuyerons sur cette gradation pour guider la progression de certains exercices en fonction de Camille.

Enfin sur le plan cognitivo-comportemental on retient également que si l'enfant présente un retard mental, la prise en charge (PEC) devra s'adapter aux particularités cognitives de l'enfant, en se basant notamment sur le principe d'affordance. La présence de troubles de comportements influencera également la PEC. Tout au long du mémoire j'ai remarqué l'importance de la maturation des processus attentionnels avec l'âge. Sachant que les enfants présentant une ACC et/ou un RM manifestent fréquemment un trouble attentionnel, il faudrait donc trouver un mécanisme permettant de faciliter le maintien ou la répartition de l'attention sur la tâche.

Mais quel type de rééducation pourrait convenir aux enfants présentant une malformation du CC ? Quels seraient les objectifs de cette rééducation ?

IV

Plasticité cérébrale, rééducations et indiçage externe:

INTRODUCTION:

Chiappedi et Bejor (2010) nous rappellent que les expériences de vie comme les rééducations peuvent changer la manière dont notre cerveau fonctionne, ainsi que sa structure (plasticité cérébrale) si les stimulations sont appropriées, intensives et durables. Ceci s'avère d'autant plus vrai que le cerveau est en développement. Dans ce cadre, « le traitement de réadaptation (des sujets présentant des pathologies du CC) peut être vu comme l'occasion d'offrir une expérience qui pourrait à long terme, modifier les voies neurologiques grâce à la plasticité du système nerveux central (SNC)» (Chiappedi et Bejor, 2010, de notre propre traduction, p 4). L'un des objectifs de la rééducation consiste donc à exploiter la plasticité spontanée du SNC, afin d'offrir des moyens de compensation via la mise en place d'exercices spécifiques dans un cadre approprié. Étant donné que l'efficacité du transfert inter-hémisphérique est perturbée par l'ACC, l'objectif de la prise en charge de ces enfants vise à une amélioration de la précision et du temps de traitement de l'information. Pour stimuler le phénomène de plasticité cérébrale, il semble que la PEC doit inclure des contraintes obligeant le patient à développer d'autres voies ou structures cérébrales (Serrien et al., 2001, cité par Chiappedi et al, 2010). Chiappedi et al (2010) préconisent de ce fait la mise en place des traitements rééducatifs le plus précocement possible, pour éviter une exclusion sociale mais aussi pour exploiter la plasticité cérébrale. Parents et enseignants doivent être informés et conseillés pour qu'ils puissent adapter au mieux leur comportement aux difficultés de l'enfant et favoriser son développement. Quant aux interventions rééducatives, les auteurs reconnaissent la place de la psychomotricité. Cette discipline permet d'améliorer le développement de l'enfant dans un sens général, notamment en recrutant des techniques ludiques de rééducation alliant des aspects moteurs, cognitifs et relationnels qui participent à l'établissement de la connaissance de soi et du monde (Dupré, 1925, cité par Chiappedi et al, 2010).

Nous proposons à présent de revenir plus en détails sur un principe de rééducation, l'indiçage externe du mouvement.

A-Principe de l'indiciage visuel et auditif dans la rééducation de troubles moteurs

Depuis quelques années, on reconnaît le bénéfice de l'indiciage auditif ou visuel pour initier et déclencher un mouvement (grâce à des métronomes visuels ou auditifs par exemple), comme en témoignent différentes recherches effectuées sur la rééducation de la maladie de parkinson (MP) (Lee et al, 2012). Il semble en effet, qu'il existe une voie privilégiée dans le traitement de la réponse motrice à une information sensorielle externe, permettant ainsi de compenser le phénomène d'akinésie (difficulté ou incapacité à initier un mouvement) ou d'hypokinésie (rareté de mouvement) caractéristique de la MP. La rééducation de la MP fait dans ce contexte, appel à la plasticité cérébrale (Tallet, 2008). Ainsi le rythme visuel provoqué par des bandes blanches au sol à intervalle régulière, semble améliorer l'initiation et la qualité fonctionnelle de la marche chez les patients parkinsoniens (Lee et al, 2012). De la même manière, d'autres auteurs démontrent que l'indiciage externe du mouvement en cours de réalisation (feedback sensoriel, par exemple : se voir dans un miroir), produit une amélioration des performances en coordination motrice chez les populations présentant des troubles moteurs (Verschueren et al.1997, cité par Debaere et al, 2003). Enfin, l'intérêt de l'indiciage a également été évoqué pour l'intégration des coordinations bimanuelles chez l'adolescent ordinaire (Lee et al., 1995, cités par Debaere et al., 2003).

Dans un premier temps, nous reviendrons sur les études qui ont portées sur les rythmes auditifs et visuels en tant que phénomènes inducteurs de mouvement, et qui constituent une première étape pour comprendre l'intérêt de l'indiciage externe comme outil de rééducation. Dans un second temps, nous aborderons l'étude de Debaere et al, (2003), qui a permis d'observer précisément les processus et voies neurologiques en jeu lors de la réalisation de coordinations bimanuelles, guidées ou non par un indiciage externe.

B- Induction motrice des rythmes auditifs et rythmes visuels

En 1946, Fraisse démontre que la perception d'un rythme auditif, via la stimulation répétée de signaux sonores, engendre spontanément chez tous les individus une «induction motrice» (Fraisse, 1948). Les adultes et les enfants se mettent par exemple automatiquement à frapper le tempo d'une mélodie avec le pied. Fraisse considère la perception du rythme comme un phénomène perceptivo-moteur immédiat. Il relie la spontanéité de l'induction motrice à la physiologie du système auditif, qui semble «parfaitement adaptée à la perception de sensations brèves et fréquentes» (Fraisse, 1948 p24).

En 1948, il compare les modalités visuelles et auditives aux moyens de différentes tâches de frappes, afin de cerner si une succession de stimulations visuelles engendre elles aussi un rythme, et donc par conséquent une induction motrice spontanée. Il compare ainsi chez l'adulte ordinaire et dans les deux modalités, la précision rythmique de la frappe (précision de reproduction du rythme perçu), la précision de la simultanéité de la frappe (degré de synchronisation avec la stimulation) et enfin, la variabilité de la simultanéité de la frappe. Celle dernière reflète plus précisément la capacité de synchronisation globale du sujet puisqu'elle se calcule sur l'ensemble de l'épreuve.

Les résultats indiquent que les stimulations visuelles peuvent engendrer une structure rythmique, qui n'est néanmoins pas appréhendée aussi spontanément et globalement que les stimulations sonores. Ainsi beaucoup de sujets ne parviennent à appréhender le rythme visuel, qu'après avoir transformé les stimulations visuelles en information verbales, en comptant par exemple (transcription du schéma visuel en schéma sonore). Fraisse rapproche la difficulté de percevoir la structure rythmique de la physiologie de l'œil, qui ne semble pas adaptée à la réception de signaux lumineux brefs et répétés d'un même point de l'espace. On sait en effet que les stimuli visuels persistent sur la rétine et prennent un certain laps de temps pour disparaître, gênant ainsi la perception d'un rythme engendré par des stimulations visuelles brèves et successives. Les sujets ont donc mis un certain temps avant de pouvoir synchroniser leurs frappes avec les stimulations visuelles. Ils ont également présentés une plus grande variabilité de réponse, ce qui démontre selon Fraisse, que l'induction motrice engendrée par les rythmes visuels diffère de celle générée par les stimulations auditives, notamment du fait d'une absence d'induction motrice quasi immédiate, spontanée et stable dans le temps. L'auteur reconnaît néanmoins qu'il est possible de percevoir le rythme visuel si on le transforme en schéma verbal ou sonore.

Plus récemment, différentes études ont corroboré le lien très étroit entre la perception de rythme et l'induction de mouvements. Ce phénomène est aujourd'hui étudié sous le terme général de couplage perception-action. Dans le cadre de stimulations auditives, ce lien apparaît comme universel et précoce (Phillips-Silver et al, 2005 ; Winkler et al, 2009, cités par Dalla Bella, 2012). Il semble sous-tendu par des réseaux neuronaux cortico et sous-cortico précis, différents de la voie de la motricité volontaire produite en l'absence de rythme ou de musique (Wing, 2002; Zatorre et al, 2007, cités par Dalla Bella, 2012). En effet, on reconnaît aujourd'hui communément l'existence de deux voies fonctionnelles pour la préparation du mouvement volontaire.

C- L'existence de deux voies pour la préparation du mouvement

Selon Goldberg le gradient d'utilisation de ces deux voies motrices semble varier en fonction des conditions de la tâche et de l'environnement, notamment en fonction des conditions de déclenchement de l'action (Goldberg, 1985, cité par Fagard, 2001). Ainsi lorsque l'action est déclenchée immédiatement en réponse à un stimulus externe, on observe l'activation de la voie cortico-cérébelleuse. Par exemple, elle est en jeu dans le pointage d'une cible lumineuse. Les mouvements générés sont déclenchés rapidement et exécutés de façon relativement lente. A l'inverse la voie cortico-striatale est activée lorsque le mouvement est auto-généré, soit (1) dans le cas de l'absence de signal externe, soit (2) parce que l'individu a préparé au préalable la programmation de son mouvement. Elle semble particulièrement impliquée dans la génération de mouvements à déclenchement lent mais à exécution rapide, qui sont programmés sur la base de procédures préalablement stockées. On peut ainsi distinguer une motricité «réactive» (voie cortico-cérébelleuse), d'une motricité «auto-déclenchée» (voie cortico-striatale) (Paillard, 1990, cité par Fagard, 2001).

Le recours à certaines techniques d'imagerie cérébrale a permis d'observer précisément les différentes étapes en jeux dans la programmation de mouvements bimanuels en réponse à une stimulation externe ou interne.

1) Présentation de l'expérience de Debaere et al (2003)

Dans cette expérience, il s'agit d'observer directement les zones cérébrales activées lors de la réalisation de coordinations bimanuelles complexes guidées ou non par indiçage, chez l'adulte ordinaire. On cherche également à confirmer que les feedbacks visuels au cours du mouvement facilitent l'acquisition des coordinations complexes. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle consiste en un procédé d'imagerie cérébrale qui permet d'observer les zones d'activation du cerveau, lorsque l'individu est engagé dans une tâche. Elle renseigne donc précisément sur les structures qui participent à la production motrice. Deux groupes expérimentaux sont constitués. Certains individus peuvent directement observer leurs mouvements en temps réel par un système de miroir, alors que d'autres non (ils ont les yeux fermés). La tâche consiste en la réalisation d'une coordination asymétrique, où le rapport temporel entre le cycle de la main gauche et de la main droite est d'1/4. Elle nécessite donc chez tous les sujets un temps de pratique au préalable avant d'être maîtrisée. Une tâche contrôle de coordination en phase est également proposée, principalement pour mettre en évidence que l'indiçage n'est bénéfique qu'aux coordinations complexes. L'évaluation de la performance est mesurée par l'analyse de la phase relative (voir Annexe p 98). Au final, il apparaît bien que l'indiçage externe facilite et augmente la performance des sujets engagés dans la tâche bimanuelle complexe.

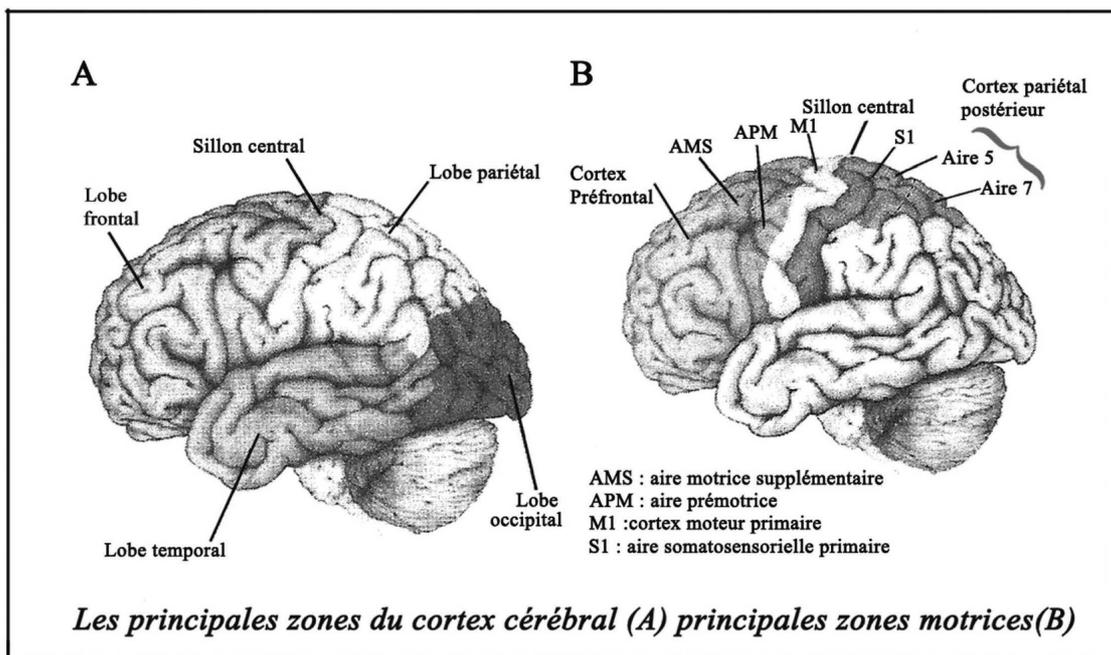
En complément de connaissances issues de la neuropsychologie que nous présenterons pour chacune des voies, l'expérience de Debaere et al (2003) nous fournit un modèle de compréhension relativement précis, quant à l'implication de différentes zones motrices dans les voies de la motricité réactive et de la motricité auto-déclenchée.

2) Rappels anatomo-fonctionnels et fonctionnement de la voie cortico-cérébelleuse

Les structures cérébrales citées dans cette partie sont illustrées sur la figure 4 ci-dessous. Pour commencer, nous rappellerons de manière générale qu'une partie du lobe temporal est spécialisé dans le traitement des informations auditives et visuelles. Le cortex prémoteur intervient dans la préparation du mouvement en réponse à des stimuli externes et le cortex pariétal transformerait les informations spatiales extra personnelles en représentation somatotopique intra personnelles (Grafton et al, 1992, cités par Fagard, 2001). Autrement dit, le cortex pariétal participerait à la mise en relation des informations de la cible avec celles issues de la position de notre corps. C'est le cas par exemple, lorsque l'on prépare l'ouverture de la main en fonction des caractéristiques d'un objet.

Figure 4 : Les principales zones du cortex cérébral(A) et les principales zones motrices (B)

(Bear et al., 1998, tiré de Fagard, 2001, p 54)



Situé en arrière du tronc cérébral auquel il est relié par les pédoncules, le cervelet semble particulièrement impliqué dans les phases d'apprentissage de nouvelles activités motrices. Cette structure cérébrale intervient à la fois dans la voie cortico-cérébelleuse et dans la voie cortico-striatale (Debaere et al, 2003). En premier lieu, le cervelet coordonne l'organisation temporelle des actes pluri-articulaires, et régule la production motrice en combinant les différents éléments du mouvement en un ensemble harmonieux. Il interviendrait également dans la mémorisation d'informations guidant l'action. De ce fait il permettrait de paramétrer la préparation du mouvement (Dugas & Smith, 1992, cité par Fagard, 2001). De plus, en comparant les informations sensorielles perçues pendant l'exécution du mouvement aux conséquences sensorielles attendues de l'action, le cervelet semble assurer la correction du mouvement en temps réel. Plus généralement, il serait impliqué dans la perception du rythme (Holden, 1998, cité par Fagard, 2001) et dans la synchronisation des paramètres temporels entre les deux mains, par exemple lors de mouvement répétitifs bimanuels (Kawashima et al, 2000 cité par Debaere et al, 2003).

Ainsi lorsqu'un mouvement bimanuel est guidé par un signal externe, il apparaît que les informations sensorielles véhiculent des informations spatio-temporelles, qui sont transformées en action motrice via l'action conjointe des cortex prémoteur et pariétal (Wise et al, 1997; Rizzolatti et al., 1998, cités par Debaere et al, 2003). Le cortex prémoteur intègre ensuite les informations

kinesthésiques et visuelles générées pendant le mouvement. Il permet ainsi de contrôler et de corriger le mouvement en temps réel. Le cervelet intervient conjointement dans ce contrôle pour optimiser la fluidité du mouvement, notamment en se servant des informations visuelles générées pendant le mouvement. Enfin, pour assurer l'adaptation du mouvement à l'environnement, le programme moteur serait constamment mis à jour par les informations perceptives du stimulus externe, l'attention est donc principalement portée sur les stimuli externes. Nous présenterons à présent le fonctionnement de la voie cortico-striatale.

3) Rappels anatomo-fonctionnels et fonctionnement de la voie cortico-striatale

Les structures cérébrales décrites sont représentées sur la figure 4. Rappelons d'abord que la pensée abstraite, la prise de décision et les processus de représentations relèvent du cortex préfrontal. Cette zone du cortex intervient dans le processus de stockage à court terme d'éléments spatiaux servant à guider l'action, ainsi que dans la mémorisation à long terme des informations relatives au mouvement (représentation interne du mouvement, Goldman et al, 1992¹). Les ganglions de la base reçoivent des informations de toutes les aires corticales et projettent à leur tour sur des régions responsables de la planification de l'action en l'absence de signal externe, notamment sur le cortex moteur cingulaire et l'aire motrice supplémentaire (AMS) (Gaybriel et al, 1991¹). L'AMS est impliquée dans la préparation des mouvements des mains (Porter, 1990¹) en réponse à une stimulation interne (Kermadi et al, 1997¹), et plus particulièrement dans le cadre de mouvements complexes et séquencés (Roland et al, 1980¹). Son rôle a particulièrement été mis en évidence dans les coordinations bimanuelles complexes, notamment pour la coordination de mouvements alternés et asymétriques (Viviani et al, 1998¹ ; Schell et al, 1986¹). Enfin on sait également que l'organisation séquentielle des gestes bimanuels est perturbée en cas de lésions de l'AMS (Benecke et al, 1987¹).

Ainsi, lorsqu'un mouvement est auto-généré, il semble déclenché par l'activation des ganglions de la base, de l'AMS et du cortex moteur cingulaire (Goldberg, 1985; van Donkelaar et al, 1999, 2000 cité par Debaere et al. 2003). La préparation du mouvement serait possible grâce à une représentation interne du mouvement, provenant en partie du cortex pariétal associé à des régions frontales, et d'une certaine région du cervelet. Ainsi, il apparaît que le cortex pariétal inférieur et les régions frontales intègrent les informations sensori-motrices issues des mouvements (Huttunen et al, 1996; Linn et Forss, 2002, cités par Debaere et al, 2003). Le cervelet interviendrait dans la

¹ Références bibliographiques citées par Fagard, 2001

mémorisation des informations qui ont pu guider préalablement un mouvement. Le contrôle moteur se fait par le cortex pariétal inférieur associé aux régions frontales. La correction du mouvement s'effectue par une convergence de l'attention sur les informations kinesthésiques (Matelli et al, 1986, cité par Debaere et al, 2003).

Les voies cortico-cérébelleuse et cortico-striatale se distinguent, mais sont néanmoins complémentaires et connectées entre elles (notamment au niveau des zones responsables de la planification de l'action, AMS, cortex prémoteur, et cortex moteur cingulaire). Chacune de ces voies établit des connexions neuronales avec les aires responsables du déclenchement des mouvements complexes, les cortex moteurs primaires. Le déclenchement et le contrôle de la motricité s'effectue alors via les voies croisées sensori-motrices. L'intérêt d'une rééducation en psychomotricité basée sur l'indication externe du mouvement apparaît ainsi plus clairement.

4) Indication externe et rééducation

On sait qu'un patron de coordination se caractérise en fonction des paramètres spatio-temporels qui le constituent. En regard de l'étude de Debaere et al. (2003), on peut donc penser que le recours à l'indication externe du mouvement permet d'apporter des informations spatio-temporelles supplémentaires à l'individu favorisant ainsi probablement leur intégration. La transformation des informations spatio-temporelles en action motrice semble peu coûteuse en termes de ressources cognitives. Certains auteurs considèrent ainsi que l'indication externe réduit la nécessité d'internaliser un plan moteur (Rochester et al, 2007, cité par Lee et al, 2012). Dans ce contexte, l'indication assurerait un rôle exécutif en réduisant la charge cognitive dévolue à la préparation du mouvement. De plus, pour corriger et améliorer le mouvement, l'attention est d'avantage focalisée sur les indices auditifs et/ou visuels. Or, on sait que l'enfant ordinaire est sensible au rythme. D'autre part, les enfants et les individus présentant une ACC ou encore un RM sont plus dépendants des informations visuelles pour corriger et réguler le mouvement, que des informations kinesthésiques. L'indication constituerait donc une méthode intéressante pour les enfants présentant ces différents troubles. Il permettrait de préparer et de réguler les coordinations selon un moindre coût cognitif, en se basant sur une modalité d'informations préférentiellement utilisées par ces enfants. Cet apport régulateur d'informations concrètes pourrait donc en théorie favoriser à la fois, l'initiation et l'intégration des coordinations bimanuelles, chez les enfants présentant une pathologie du CC associée à des difficultés cognitives. La démarche s'inscrit dans le principe de plasticité cérébrale.

D- Indiciage externe et mémorisation du signal comme principe de rééducation d'enfants présentant une agénésie partielle du CC: hypothèses et démarche

En sachant que l'ACC provoque entre autres des troubles de la coordination bimanuelle, je fais l'hypothèse qu'un apport d'informations spatio-temporelles véhiculées par un indiciage externe pourra aider à l'initiation et à la régulation des informations spatio-temporelles d'une coordination choisie. En parallèle, un travail de mémorisation sera nécessaire pour favoriser l'autonomie de l'enfant (indépendance vis-à-vis d'un métronome par exemple). J'aborderai cette phase de plusieurs manières. Premièrement, l'indiciage permettrait en soi une intégration et une mémorisation sensori-motrice du mouvement, grâce à l'action respective des cortex prémoteur et d'une région précise du cervelet. Ensuite, en retirant progressivement les indiciages proposés au fil des séances, je souhaite favoriser l'activation de la voie cortico-striatale et les processus de représentation interne du mouvement, afin de consolider l'acquisition du comportement moteur. Enfin, je proposerai également le plus implicitement possible à l'enfant de rythmer elle-même ses mouvements lors d'une activité. Si la stratégie fonctionne et qu'elle est reprise spontanément en dehors des activités travaillées, elle devrait théoriquement favoriser la généralisation et le transfert de cette stratégie à d'autres situations.

Par ailleurs compte tenu des indications de Fraisse (1948), et en sachant que les individus souffrant d'une ACC présentent une lenteur pour ajuster les informations visuelles à celles de la main, nous pouvons également penser que la modalité auditive de l'indiciage sera plus bénéfique que l'indiciage visuel. De la même manière, on sait que les processus attentionnels mûrissent pendant l'enfance (Anslin & Sinfreddo, 1982, cité par Robertson, 2001). On peut donc penser qu'un indiciage à la fois visuel et auditif (multimodal) perturbera davantage l'enfant, qu'un indiciage dans une seule modalité sensorielle (phénomène de double tâche, de surcharge cognitive pour traiter deux types d'informations simultanément).

La dernière partie théorique a mis l'accent sur les objectifs de temps et de précision en ce qui concerne la prise en charge d'enfants présentant une ACC (Chiappedi et al, 2010). Il faudra également veiller à ce que l'enfant puisse expérimenter de façon durable et répétitive les exercices spécifiques proposés, dans un cadre approprié. Pour terminer, sachant qu'une coordination peut s'évaluer en termes de précision et de stabilité, la mesure des performances en coordination bimanuelle avant et après la rééducation devra prendre en compte ces différents paramètres.

PARTIE PRATIQUE

Introduction

J'ai rencontré Camille au cours de mon stage effectué dans un cabinet libéral de psychomotricité. Lors de notre rencontre, je suis d'abord frappée par les nombreux phénomènes qui parasitent la motricité manuelle de cette fillette, et par le rythme général qu'elle manifeste. Camille est en effet une petite fille lente, notamment sur les plans moteur et perceptif, ainsi qu'au niveau du raisonnement et plus largement des acquisitions. Sa motricité manuelle se caractérise de surcroît par de fréquentes syncinésies, des difficultés de régulation tonique, une lenteur d'initiation et de réalisation du mouvement, ainsi qu'un manque de précision en général. Pour mieux la présenter, nous proposons de revenir dans un premier temps sur son histoire et son parcours de vie jusqu'aux environs de ses 6 ans. Dans un second temps, nous dresserons un descriptif de l'enfant, âgée aujourd'hui de 10 ans. Enfin dans une dernière partie, nous aborderons plus en détails le projet de soin et les axes de travail développés en psychomotricité pour l'année 2012/2013.

I

Présentation de Camille

Camille est âgée de 10 ans lorsque je la rencontre. Cette fillette présente des difficultés motrices, perceptives et cognitives dans le cadre d'une agénésie partielle du CC, s'inscrivant possiblement dans le cadre d'un syndrome génétique polymalformatif.

Actuellement, l'enfant est scolarisée en CLISS (niveau CP), dans une classe de 4 élèves. L'enfant est par ailleurs suivie en libéral en orthophonie (2/sem), en psychomotricité (1/sem). Elle participe également à une activité de groupe, tous les mercredis dans le cadre de l'association [REDACTED] (une association destinée à l'accueil des personnes avec autisme) pour travailler les habilités sociales depuis la rentrée 2011. Camille constitue le second enfant d'une fratrie de 2. L'aînée ne rencontre pas de difficultés. On ne note pas d'antécédents familiaux. Les parents sont en phase de séparation.

A - L'histoire de Camille: anamnèse, développement, diagnostic et suivis

1) Anamnèse

La grossesse est marquée par un fort stress maternel. On prescrit à la maman sur une courte durée des benzodiazépines (anxiolytiques). Un retard de croissance intra-utérin est noté. L'accouchement est déclenché et se réalise par césarienne à 37 semaines d'aménorrhée. Une forte hypotonie natale est observée et Camille manifeste également une antéposition anale. Une IRM cérébrale met rapidement en évidence une agénésie partielle du CC, associée à des kystes arachnoïdiens sans activité. Une consultation pour un bilan génétique est effectuée en 2005, visant la recherche d'un syndrome de l'X fragile, non retrouvé. Depuis le généticien qui a suivi Camille suspecte un syndrome génétique polymalformatif non étiqueté, mais la famille n'a pas désiré poursuivre les investigations. Les bilans auditifs et visuels sont normaux.

2) Développement et suivis

Camille est décrite comme un bébé calme, avec peu de mouvements. Le développement du langage et les acquisitions psychomotrices ont été globalement retardés. Pour exemples : la déglutition est fonctionnelle à 24 mois, la marche à 4 ans. Camille est d'abord surveillée par un neuro-pédiatre, avant d'être prise en charge par le centre externe de réadaptation fonctionnelle jusqu'à la mise en place de la déglutition. Un CMPP prend ensuite le relais.

L'enfant rentre à l'école maternelle à l'âge (3ans et 11 mois) notamment parce que la marche n'était pas acquise auparavant. Elle bénéficie tout au long de l'école maternelle d'une AVS à temps partiel, qui reste indispensable pour la reformulation des consignes et le maintien de son attention. En grande section de maternelle (GSM), l'école constate que cette petite fille est toujours fortement en décalage par rapport à ses pairs, tant sur le plan de l'autonomie, de l'effort, de la socialisation, du langage que de l'entrée dans les apprentissages. Une évaluation complète de l'enfant s'engage.

3) Diagnostic de l'évaluation complète de 2008

Camille est âgée d'environ 5 ans et ½ lorsque l'évaluation est réalisée. L'ensemble des investigations a permis de porter un diagnostic de retard global de développement, associé à des difficultés cognitives, dans le cadre d'un handicap dû à l'agénésie partielle du CC que présente la fillette. Globalement chaque intervenant souligne que Camille manifeste d'importantes difficultés pour canaliser son attention et pour la maintenir sur une tâche. Suivant les activités, l'enfant peut présenter une agitation motrice, avec un refus formel d'effectuer l'activité demandée. Des difficultés de compréhension du langage et d'expression sont également relevées. Certains examens, comme celui des praxies bucco faciales n'ont jamais pu être réalisés car systématiquement refusés par Camille. Néanmoins ils apparaissaient à priori immatures et lacunaires.

L'orthophoniste relève que Camille manifeste un important retard d'acquisition de la parole et du langage oral, dû au retard de développement dans le cadre de son handicap. C'est une enfant qui s'exprime peu et dont la parole manque d'intelligibilité. Elle présente un trouble du langage oral, qui touche le versant expressif et réceptif, associé à un trouble phonologique. Camille construit des mots-phrases et présente un trouble de la syntaxe ainsi qu'un agrammatisme.

L'évaluation psychométrique ne fournit pas d'indice de Quotient Intellectuel (QI) interprétable, étant donné les difficultés langagières de Camille (voir tableau 2 ci-dessous). Le niveau de développement du dessin de bonhomme correspond à un âge de 3 ans.

Épreuve du WWPPSI III	
QI Verbal	Incalculable
NCL (indicateur du niveau de développement du langage)	73 niveau dit limite
QI Perceptif	58
QI Vitesse de traitement	Incalculable
QI Total	Incalculable

Tableau 2 : Évaluation psychométrique de Camille. La norme pour le QI total est fixée entre 90 et 110. Un retard intellectuel s'identifie quand le QI total est inférieur à 70.

En psychomotricité, il est noté un retard global de développement associé à un trouble sévère du tonus : une hypotonie axiale de fond est compensée par une hypertonie, retrouvée tant sur les membres supérieurs qu'inférieurs. Les coordinations dynamiques générales, le graphisme, et les capacités de construction ont été évaluées aux moyens de la WACS ainsi que des items complémentaires du Brunet Lézine. Globalement Camille présente un niveau comparable à celui des enfants de 3 ans. Pour exemples, l'équilibre unipodal est tenu moins de 2 secondes, les ballons ne sont pas encore réceptionnés. Des difficultés importantes sont retrouvées en motricité manuelle, qui ralentissent la prise d'objets et les réajustements de la main. Ainsi, Camille manifeste une hypertonie digitale avec des mouvements d'extensions parasites, gênant le déliement digital et le contrôle de la prise. Camille paraît en revanche plus performante dans le traitement perceptif, la discrimination et l'extraction d'informations ne posent pas de problèmes, hormis lorsqu'il s'agit de différencier des éléments par leur orientation spatiale. Les capacités de concentration sont fluctuantes et très limitées.

4) Projet de soins et scolarisation

A l'issue de l'évaluation globale de l'enfant et du manque de place dans le CMPP qui prend Camille en charge, il est conseillé à la famille de poursuivre les rééducations de manière plus intensive en libéral. Camille est donc suivie depuis en orthophonie et psychomotricité (2 séances de 30 minutes hebdomadaires), ainsi qu'en kinésithérapie (1 séance de 30 minutes hebdomadaire). Il est décidé conjointement avec la famille et l'école de maintenir Camille en GSM, afin de lui laisser plus de temps pour progresser en langage et en socialisation. Camille aime aller à l'école. Cependant elle reste inquiète pendant les récréations: l'enfant s'isole et finit par remonter en salle de classe avant la fin de la pause. Camille peut également agresser et mordre ses camarades si elle est en désaccord avec eux et plus spécifiquement si la situation est nouvelle.

À partir de la rentrée [REDACTED], Camille manifeste toujours un important décalage par rapport à ses pairs. Cependant, les progrès effectués entre temps ont permis son orientation en CLISS à temps partiel, avec une intégration scolaire en CE1 pour le sport, la peinture et les contes. Parallèlement, le suivi en libéral intensif se poursuit (5 PEC hebdomadaires). Pour travailler les habiletés sociales, Camille intègre une matinée par semaine, une séance de groupe dans le cadre de l'association InPACT.

B - Aujourd'hui

Depuis l'évaluation de 2008, Camille a progressé et a continué son évolution. Afin de présenter une vision plus complète de l'enfant telle qu'elle est aujourd'hui, nous aborderons plusieurs éléments. En premier lieu, nous exposerons ce qu'elle travaille actuellement dans le cadre de ses rééducations paramédicales. Dans un second temps, la synthèse de la réunion de suivi qui s'est déroulée à l'école de Camille courant janvier 2013, nous permettra de d'obtenir des informations sur le comportement général et scolaire de Camille, ainsi que sur ses difficultés et possibilités dans les apprentissages. Enfin nous nous appuierons sur le bilan psychomoteur et les observations relevées en prise en charge durant le début d'année scolaire 2012/ 2013, pour décrire plus précisément Camille sur le plan psychomoteur, et dégager un projet de soin ainsi que des axes de travail pour cette année.

1) Point sur les rééducations en cours

L'association [REDACTED] rapporte que Camille est plus à l'aise dans ses relations avec ses pairs. Elle engage plus souvent l'interaction avec autrui et porte de l'intérêt aux activités de groupe.

En kinésithérapie la prise en charge s'est déroulée sur 4 ans et s'est interrompue à la rentrée 2012/2013.

En orthophonie, l'amélioration du comportement attentionnel et les progrès en écoute permettent des exercices plus ciblés sur les processus cognitifs relatifs au langage écrit, l'objectif étant à présent de consolider la lecture, notamment en accédant au sens du texte déchiffré. Camille manifeste en effet des difficultés lorsqu'elle est engagée dans deux tâches à la fois (déchiffrer le texte et en comprendre le sens). Camille comprend mieux qu'elle ne s'exprime.

En psychomotricité (1 séance de 45 min hebdomadaire), l'amélioration du contrôle de l'axe corporel permet à Camille d'expérimenter davantage sa motricité. Il est également noté une progression dans le maintien de l'attention sur la tâche (plus de détails seront donnés par la suite).

2) Comportement global, scolarité et orientation : réunion de suivi de janvier 2013

Je dresse ici la synthèse de la réunion de suivi scolaire de Camille qui a eu lieu en janvier 2013. La dernière commission avait statué que Camille bénéficierait d'une intégration en CLISS jusqu'au [REDACTED]. La réunion de janvier avait pour objectif de faire le point sur la situation, afin de décider de sa future orientation. De manière générale, il n'y a eu aucun point à délibérer, tous les intervenants étaient en accord.

L'orientation de Camille en ULISS ou en SEGPA ne semblait pas pertinente du fait de son manque d'autonomie. Cependant la mère et plusieurs intervenants soulignaient que Camille aimait aller l'école, qu'elle progressait en lecture et qu'elle s'exprimait d'avantage. La maitresse a confirmé que les notions du CP étaient relativement bien acquises. Ainsi, les principes de numérotation, d'addition, de quantité et de mesures semblaient compris, mais ils pouvaient toutefois être freinés par des difficultés de raisonnement, ou de la précipitation. Tout comme pour le cas de la lecture (accès au sens), Camille nécessitait un accompagnement pour les tâches complexes. Enfin, les difficultés motrices gênaient l'écriture.

Sur le plan du comportement, Camille a manifesté moins de comportements compulsifs (rigidité des comportements). L'obsession du rangement semblait moins présente et la parasitait moins : Camille restait à sa table en classe et avait acquis la position d'élève. Le comportement pouvait cependant réapparaître fortement à certaines périodes. Les moments de transition paraissent mieux gérés à l'école ainsi que dans les situations de groupe. Camille semble également plus investie et plus à l'aise dans l'échange avec ses pairs. Cependant la question problématique de la gestion du temps libre persiste, et ce, particulièrement à la maison. De plus, même si Camille vit mieux la nouveauté en général, elle peut encore être déstabilisée par une situation inconnue. L'agressivité est moins présente et paraît plutôt lors de longues journées.

Au final, il ressort que Camille progresse de façon globale. C'est une élève qui profite de son accompagnement en CLISS et dans le secteur paramédical, le suivi doit donc rester le même. La maman souhaiterait que Camille intègre un IM Pro pour septembre 2014.

3) Bilan psychomoteur d'évolution de l'enfant de 2012

En accord avec la famille et, prenant en considération la fatigabilité et le rythme de Camille, je décide d'étalonner le bilan en 4 séances de 45 min entrecoupées d'activités ludiques et connues de l'enfant. Le bilan et ses conclusions sont présentés ci-dessous.

Motricité générale et motricité fine

WACS 5ans ½ - 6 ans	M-ABC, tranche des 5 ans		
<i><u>Subtest 4: Mouvement général</u></i>	<i><u>Dextérité manuelle</u></i>	<i><u>Maitrise de balle</u></i>	<i><u>Équilibre statique et dynamique</u></i>
Centile 30 ou -0,4 DS (17/28)	Supérieur au 15eme percentile (4 points)	En dessous du 5eme percentile (7 points)	Entre le 5eme et le 15eme percentile (8 points)

Au Subtest 4 de WACS, les items portant sur la dissociation des différentes parties du corps sont entièrement validés. On note cependant des syncinésies controlatérales sur les demandes mobilisant une coordination jambe/bras opposés. Sauter à pieds joints dans les 4 directions, en enchainant les sauts est désormais possible, la réception reste cependant abrupte et souvent en décalé. A la batterie d'évaluation du mouvement M-ABC, Camille obtient une Note Totale de dégradation de 19 (en dessous du 5eme percentile), soit +2,9 DS, en la faveur d'une incoordination motrice. De manière globale, on assiste à une dégradation des performances au fur et à mesure des essais témoignant entre autres, de la fatigabilité de Camille. Je me demande aussi parfois si un excès de contrôle sur la tâche n'engendre pas à son tour la dégradation des performances notée. Le domaine de la dextérité manuelle enregistre un score correct, les manipulations sont néanmoins ralenties par l'hyper extension digitale ou à l'inverse, par une flexion excessive des doigts qui ne participent pas à la prise en pince. Dans le domaine maitrise de balle, le contrôle visuel de la cible n'est pas systématique. Le tronc est parfois embarqué vers l'avant, lorsque le bras est engagé dans l'action. Au niveau de l'équilibre, Camille est à présent en mesure de mieux s'ajuster en compensant avec des mouvements plus adaptés des bras. L'épreuve de saut au-dessus d'une corde à hauteur des genoux n'a pas été administrée.

Graphomotricité

Le *graphisme*, évalué à l'aide du subtest 3 de WACS, correspond à un enfant de 4ans ½ (24/48). La prise du stylo s'effectue à gauche et paraît stabilisée. Lorsqu'elle s'applique Camille ralentit son tracé, ce qui provoque des tremblements. Le contrôle graphique manque de précision, il peut être perturbé par des mouvements parasites et semble parfois de meilleure qualité lorsque Camille ne dispose pas de modèle sous les yeux. Une certaine hâte est notée lors de la passation.

Concernant l'*écriture*, Camille obtient une note totale de dégradation de +3DS au BHK (niveau CP). L'analyse factorielle des différents critères de cotation montre que l'enfant est particulièrement en difficulté pour la production motrice des lettres (F1= +5,03 DS). L'écriture est en effet très grosse et tremblante. L'analyse de l'organisation spatiale des lettres dans les mots se trouve également perturbée (F3= +2DS). Les mots sont trop serrés les uns par rapport aux autres, la taille des lettres varie et des télescopages sont retrouvés. Enfin, l'étude de l'organisation spatiale de l'écriture sur la feuille pointe principalement une difficulté à tenir des lignes planes (F4= +1,9 DS). Le score de vitesse enregistre un score correct (56 caractères inscrits en 5 minutes, soit 0,2 DS). On peut donc retenir que Camille présente une dysgraphie en raison de difficultés de traitement visuo-spatial et de motricité fine. Par ailleurs avec la scolarisation, Camille a sans doute plus bénéficié d'un entraînement pour l'écriture que pour le dessin. De plus, lorsqu'elle était plus jeune, spontanément Camille ne dessinait pas, son attrait pour le graphisme se développe peu à peu aujourd'hui. Tout au long de l'épreuve, Camille guide sa progression en se parlant à voix haute. Le processus de copie reste immature: Camille recopie effectivement les mots lettres par lettres.

Latéralité

Camille écrit avec sa main gauche, mais la latéralité semble ambiguë: elle choisit en effet la main qui manipule en fonction des opportunités de placement des objets (WACHS). De la même manière, si la main gauche est plus performante à l'item de la balle qui roule au travers d'un but (M-ABC), la main droite paraît en revanche plus fluide.

Praxies

Les praxies idéomotrices (capacité d'imiter des gestes simples sans signification), mesurées via l'Imitation de gestes du Bergès-Lézine sont déficitaires (10/36). Camille présente des confusions dans les orientations et le choix des doigts. L'épreuve pointe une difficulté à synchroniser les mouvements des deux membres, la dissociation entre les doigts reste gênée par les phénomènes toniques (crispations). La réversibilité semble en place.

Les capacités visuo-constructives ont été évaluées aux moyens du Subtest 2 de WACHS et de la figure de Rey B. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

WACHS Subtest 2/Création d'objets tranche des 5ans- 5 ans ½	Figure de Rey B tranche des 5 ans	
percentile 60 soit 0,2 DS (34/38)	<i>Précision en copie:</i>	<i>Précision en mémoire:</i>
	Centile 40 (19/31)	Centile 40 (10/31)

Au Subtest 2 de WACHS, tous les items sont réussis mis à part l'épreuve du Pegboard, où la reproduction du modèle dans l'espace codé (planchette à trous) pose encore des difficultés, et ce, particulièrement pour l'appréhension de la diagonale. A la Figure de Rey B, tous les éléments sont présents et correctement positionnés, cependant les rapports d'intrication ne sont que partiellement recopiés et mémorisés. Camille se parle et se guide pas à pas, avec des mots simples tout le long de la passation, elle est bien concentrée sur la tâche et organise sa construction graphique de gauche à droite, en copie et en mémoire.

Fonctions exécutives

Les capacités de concentration ont été appréhendées au moyen, de l'Attention Visuelle de la NEPSY tranche des 5/12 ans. Camille obtient une note totale brute totale de 9 (-0,4 DS pour 5 ans). Elle se situe ainsi dans la norme des enfants de 5 ans. Le comportement de vérification des signes cibles est aléatoire, ce qui provoque des erreurs. Elle est toutefois capable de s'auto-corriger. Elle présente des signes de fatigabilité en fin d'épreuve (instabilité posturale, verbalisations hors tâches mais aussi en rapport avec la tâche, pour se guider).

4) Conclusion du bilan psychomoteur et observations cliniques durant les prises en charge

A l'issue du bilan psychomoteur, on peut conclure que Camille continue sa progression, mais que le décalage avec les enfants de son âge apparaît de plus en plus prononcé, du fait de la complexité croissante de traitement auquel elle se heurte avec l'avancée en âge. Cependant, malgré ses difficultés globales, Camille demeure une enfant très volontaire. Le niveau de développement psychomoteur de Camille se compare à celui d'enfants entre 4 ans ½ et 6 ans.

D'une manière générale durant le bilan, Camille est distraite : il faut souvent la re-canaliser sur la tâche, hormis lorsqu'elle utilise d'elle-même un langage à haute voix pour guider sa démarche de progression et de réflexion (Figure de Rey B, BHK, NEPSY). Elle demeure rapidement fatigable. Le contrôle visuel pendant l'action est faible et inconstant, ce qui occasionne des lacunes dans le domaine oculomoteur (maîtrise de balle) et en partie, dans le domaine de la précision visuo-motrice graphique.

De plus, la motricité manque de fluidité, la régulation tonique reste à travailler. En effet, l'hypertonie repérée au niveau des membres influence entre autre les capacités d'ajustement postural et d'équilibration. Cela empêche une complète dissociation entre l'action du tronc et des membres ou encore entre les doigts. Cela impacte donc sur la stabilité de l'enfant, la précision visuo-motrice et ses capacités de motricité fine.

Concernant la motricité générale, les progrès du contrôle de l'axe permettent à Camille d'une part, une meilleure gestion de l'équilibre et d'autre part, d'acquérir des possibilités de dissociation entre les différentes parties du corps (en comparaison des bilans psychomoteurs précédents). Camille ose prendre plus de risques, elle tente davantage des actions motrices où elle est engagée dans une double tâche, et est moins déstabilisée par la nouveauté d'une activité. Un travail de motricité globale serait donc probablement profitable à Camille, pour être en accord avec la trajectoire de développement, mais aussi pour l'aider à réguler son tonus et accroître sa stabilité posturale.

Concernant le traitement spatial en général, combiner un traitement spatial (ou praxique) à une action motrice demeure coûteux pour Camille. Elle décompose ainsi par exemples les gestes doubles à l'imitation de gestes, ou ne peut combiner le mode de déplacement «à cloche pied» avec une direction. D'après nos recherches théoriques, il semble que nous pouvons directement relier ces phénomènes à l'ACC et aux difficultés cognitives. Dans ces cas-là, Camille peut se retrouver figée pendant plusieurs secondes, dans la position d'initiation de son mouvement. De la même manière en séance lorsqu'elle demande à jouer au ballon de baudruche, elle paraît très en difficulté pour avancer une main en direction du ballon pour le rattraper (notion de vitesse). Camille se crispe, elle ferme les yeux et force pour lancer son mouvement. Ce comportement qui m'évoque une akinésie, survient plus particulièrement lorsque la situation est nouvelle, ou lorsque que Camille est fatiguée ou encore dans une double tâche. Plus encore, il semble que les difficultés d'initiation du mouvement apparaissent d'autant plus, quand Camille est engagée dans une action intentionnelle. En effet, plus elle essaye en se focalisant sur la tâche, et plus le phénomène semble s'accroître. Il me semble donc qu'un phénomène de répartition d'attention et de contrôle peut également entrer en jeu pour expliquer une partie des difficultés d'initiation du mouvement.

Concernant les capacités de motricité fine, Camille manifeste des difficultés pour mobiliser indépendamment ses doigts (déliement digital), elle est ainsi restreinte et lente dans ses manipulations. De plus, on remarque au M-ABC qu'elle possède une capacité d'accélération pour la main gauche, mais non pour la main droite et que la précision visuo motrice, notamment graphique est difficile à acquérir. Par ailleurs, les praxies idéatoires (capacité d'effectuer des gestes séquencés ou ayant une signification ou encore un but fonctionnel) sont généralement déficitaires selon la maman, sauf en cas d'entraînement par le milieu. L'adaptation gestuelle aux événements du milieu montre bien que Camille ne peut pas s'adapter, ni en terme de vitesse ni en terme en précision. Ainsi, l'observation clinique montre que la réalisation de gestes simples et alternés au niveau des mains est laborieux (patron en antiphase).

De ce fait, A l'issue du bilan psychomoteur général et des premières séances passées avec Camille, j'ai donc décidé de travailler les prérequis aux coordinations bimanuelles. Ce travail sur nous a semblé intéressant pour permettre à Camille d'être plus à l'aise dans ses manipulations.

5) Projet thérapeutique et axes de travail en psychomotricité pour l'année 2012/2013

Les recherches portant sur l'indiciage externe ou interne m'ont permis de trouver un moyen pour tenter de contourner les difficultés d'initiation et de régulation des coordinations, via l'utilisation de feedbacks, de rythmes et d'indiciages. Un travail de mémorisation devra être effectué en parallèle pour garantir une certaine autonomie à l'enfant et lui permettre une éventuelle généralisation à d'autres situations.

Nous retenons ainsi comme axes de travail en psychomotricité pour cette année :

- Un travail de précision visuo-motrice notamment graphique, qui rentre dans le cadre du travail des prérequis des coordinations bimanuelles.
- Un travail de régulation tonique dans le cadre de coordination dynamique générale pour favoriser la stabilité de l'enfant et lui fournir l'occasion d'expérimenter sa motricité de façon globale. Ce travail est d'autant plus justifié, que la maîtrise posturale constitue un pré-requis au développement de l'habileté bimanuelle.
- Un travail plus spécifique sur les coordinations bimanuelles, avec une composante de motricité digitale et de coordinations réalisées en phase ou en antiphase.

De plus tenant compte des caractéristiques cognitives et comportementales de Camille, la formulation des consignes devra recourir à un langage simple avec des phrases courtes pour faciliter la compréhension des exercices. De même, l'utilisation de la démonstration et d'images mentales favoriseront la compréhension des énoncés et des objectifs à atteindre. Nous avons également tenu compte du rythme de travail et de la fatigabilité de Camille. Enfin, sachant que Camille présente des rigidités dans le comportement, il faudra s'adapter pour ne pas installer et pérenniser des comportements inadaptés.

Afin de mesurer l'impact de la rééducation sur les performances bimanuelles de Camille, et de tester nos hypothèses relatives au bénéfice d'un indiciage externe des coordinations, il est nécessaire d'effectuer une «ligne de base» (phase de pré-test). Il s'agit de relever les performances de Camille grâce à des outils spécifiques avant la rééducation.

II

PRÉ-TEST

Les performances de Camille sont recueillies via la passation de tests spécifiques, permettant d'analyser et de mettre en relation des données chiffrées et des observations cliniques. Nous évaluerons ainsi les compétences de stabilité et de maîtrise posturale de l'enfant grâce à des items d'équilibre du Subtest IV, Mouvement Général de WACS. Pour mesurer les capacités de motricité bimanuelle de Camille, deux outils spécifiques sont utilisés. Il s'agit du Purdue Pegboard (PP) et un logiciel spécialement conçu pour mesurer la stabilité et la précision des coordinations bimanuelles, le logiciel Présentation. Un questionnaire de préférence manuelle est administré dans le cadre du protocole de recherche du logiciel Présentation. Il indique que Camille est gauchère (joint en annexe p96). Ceci nous est utile pour installer correctement le matériel par rapport à la main préférée de l'enfant, notamment pour le PP. Dans un premier temps, nous décrirons les trois outils principaux qui nous ont permis d'établir la ligne de base de Camille. Dans un second temps, nous analyserons les résultats de l'enfant.

A-Présentation des outils utilisés pour constituer la ligne de base

1) Items du Subtest IV de l'analyse des structures cognitives de WACHS

La WACS est un test normé et standardisé évaluant le développement cognitif de l'enfant de 3 ans 6 ans, au travers l'observation de son fonctionnement sensorimoteur. Le Subtest IV Mouvement Général contient certains items évaluant l'équilibre statique et dynamique, dont je me sers pour évaluer la maîtrise tonico-posturale de Camille, avant et après la rééducation. Je retiens plus spécifiquement l'item de l'équilibre sur un pied (unipodal, équilibre statique), ainsi que celui du saut cloche-pied (équilibre dynamique). Il est utile de préciser qu'en séance nous n'avons pas travaillé spécifiquement sur ces compétences, mais que le saut cloche-pied était en émergence en début de rééducation. Pour juger d'une éventuelle amélioration, les résultats de Camille en fin de rééducation seront comparés à ses performances initiales (notes brutes).

2) Le Purdue Pegboard

Afin de mesurer les capacités de motricité manuelle de Camille, nous utilisons le Purdue Pegboard (PP), un test spécifique normé et standardisé. Le PP regroupe différents facteurs de la motricité manuelle à savoir, la dextérité digitale et manuelle, la vitesse poignets-doigts et la vitesse de mouvements des bras, ainsi que le pointage (Fleishman et Ellison, 1962, cité par Beguet et al, 1998). L'enfant doit insérer le plus vite possible, le plus grand nombre de tiges dans la planche de bois présentée sur la table devant lui. Il réalise d'abord cette action avec une main, les deux mains étant par ailleurs testées. Le PP nous permettra ainsi de mesurer les performances de Camille pour chacune des mains, nous savons en effet que les capacités de motricité unimanuelle sont nécessaires au développement des coordinations bimanuelles. Dans un second temps, l'enfant exécute la même tâche mais à deux mains. Cette dernière consigne est particulièrement intéressante car elle permet d'observer si l'enfant peut répondre à la contrainte de simultanéité entre les deux membres. On se retrouve ici dans une configuration de patron de coordination en miroir avec une composante pratique (saisir et insérer des tiges). Enfin la passation du test sous forme de 3 items consécutifs pour chaque consigne, nous permettra d'évaluer les capacités d'automatisation du mouvement de Camille, et de réaliser un test-retest de manière standard.

Les résultats de Camille seront comparés à l'étalonnage normé portant sur les performances d'enfants de 10 ans. Le facteur âge est en effet hautement significatif dans l'étalonnage des 6-10 ans du PP (Beguet et al, 1998). Autrement dit, l'étalonnage du test prend significativement en compte la progression des capacités motrices, liées à l'âge du sujet. Tout au long de ce mémoire, les performances de Camille ont été comparées à la tranche d'âge de 4 ans $\frac{1}{2}$ à 6 ans pour mieux refléter ses capacités ou difficultés et donner une vision plus claire au lecteur. En revanche en ce qui concerne la mesure de l'impact de la rééducation, il nous semble plus judicieux de comparer Camille à sa tranche d'âge réelle. Les progrès réalisés à 6 ans n'ont en effet, pas la même valeur que ceux effectués à 10 ans (voir Annexe p 111).

3) Le logiciel Présentation

Le logiciel Présentation est un programme informatique qui consiste en une tâche de tapping rythmique bimanuel, élaboré dans le cadre d'un projet de recherche. Il permet d'obtenir des mesures expérimentales de la précision et de la stabilité d'une coordination bimanuelle en phase ou en antiphase, en se basant sur l'analyse de la phase relative (voir Annexe p 99). Nous pouvons ainsi

recueillir des mesures chiffrées relativement fines pour observer avec quel degré d'efficacité et de régularité Camille coordonne ses deux mains. Dans un premier temps, il s'agit de synchroniser la frappe des deux index sur un rythme imposé par un métronome visuel, auditif, puis visuel & auditif (épreuve de synchronisation), et ce de manière simultanée (patron en phase) ou alternée (patron en antiphase). La capacité de l'enfant à synchroniser la frappe des index par rapport à un métronome externe est ainsi testée selon trois modalités d'indication. On évalue ici le rôle de la voie cortico-cérébelleuse dans la régulation de la coordination. Pour chaque condition, on teste ensuite la capacité à continuer de frapper en rythme la touche, mais sans signal externe (épreuve de continuation). Cette condition supplémentaire renseigne ainsi sur le phénomène d'intériorisation et de mémorisation du signal dans le cadre d'une motricité auto-déclenchée (rôle de la voie cortico-striatale).

L'analyse et la comparaison des résultats de Camille en synchronisation et en continuation me permettront d'observer d'une part, si l'enfant a bénéficié directement de l'indication au cours du mouvement pour réguler la coordination (ou non), et d'autre part si elle a mémorisé la coordination (ou non). De la même manière en comparant les résultats obtenus entre les différentes modalités sensorielles, nous pourrions tester quelle modalité d'indication est appropriée (ou non) pour favoriser la régulation ou la mémorisation des coordinations en phase et en antiphase. Les résultats de Camille en synchronisation seront comparés à un échantillon expérimental récent non normé, composé de 13 enfants ordinaires âgés de 7 et 8 ans vivant dans la même région. Nous évaluerons la condition en continuation en observant si la performance de l'enfant se rapproche ou non de ses résultats obtenus en synchronisation. D'une manière générale, l'épreuve a été coûteuse. Il a fallu du temps et plusieurs répétitions pour que Camille parvienne à accomplir la tâche. Les difficultés de compréhension et de différenciation des consignes ont par exemple perturbé la passation. En conséquence Camille a bénéficié de séances de familiarisation plus étalées dans le temps que les enfants ordinaires. De plus, les difficultés perceptivo-motrices globales de Camille ainsi qu'une certaine labilité attentionnelle ont provoqué de manière constante des valeurs aberrantes dans le traitement des résultats. Nous avons donc retiré ces valeurs pour pouvoir analyser et traiter les résultats de Camille (pour plus de détails voir Annexe p 101).

B- Analyse des résultats

1) Synthèse des résultats au pré-test des items du Subtest IV de WAHCS

L'équilibre unipodal est maintenu 3 secondes sur les deux pieds (contre – de 2 sec. à 8 ans). Combiner l'action motrice du cloche-pied qui par ailleurs est en émergence, à un déplacement dans l'espace est compliqué : le contrôle de l'équilibre chute (pied droit) lorsque Camille veut sauter en arrière et sur le côté gauche. Sur le pied gauche, Camille persiste et réalise uniquement des sauts sur place.

2) Synthèse des résultats du pré-test au Purdue Pegboard

Camille est distraite durant la passation, plus spécifiquement en tout début d'épreuve. Je dois la re-canaliser plusieurs fois sur la tâche au cours du premier essai. Elle montre également des signes de fatigabilité durant la consigne des « deux mains ». En effet, Camille s'agite, décroche et s'arrête. L'item d'assemblage n'a pas été administré compte tenu des difficultés perceptivo-motrices et cognitives de Camille. Les résultats indiquent que Camille manifeste un trouble sévère de la motricité manuelle (-5,2 DS pour le résultat total). L'enfant est en grande difficulté à tous les items passés : les épreuves unimanuelles portant sur la main gauche (MD -5 DS) ou la main droite (MnD -3,7 DS), et plus particulièrement l'item à deux mains (2M -4,9 DS) sont déficitaires. Ces résultats indiquent également que l'enfant présente une asymétrie fonctionnelle entre les deux mains en défaveur du membre gauche, le membre scripteur de Camille. D'autre part, on retrouve une incapacité d'apprentissage sur le membre droit. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Preilowski et de Kreuter et al. concernant la motricité manuelle des individus présentant une atteinte du CC. Nous reviendrons par la suite sur les résultats obtenus à deux mains.

Plus globalement, travailler de manière précise et rapide est compliqué. Camille manifeste une lenteur d'exécution pour plusieurs raisons. Elle manque d'abord de précision dans les manipulations : la prise digitale s'effectue à 3 doigts, et son contrôle demeure parasité et ralenti par une hypertonie digitale, ainsi que des mouvements parasites. Des chutes de tiges sont notées. Pour la manipulation et l'insertion des tiges, on retrouve le même problème lié à la motricité fine. De plus, il semblerait que Camille éprouve des difficultés oculo-manuelles pour viser avec précision les encoches, elle loupe ainsi souvent les trous. Par ailleurs, la motricité de Camille manque de fluidité. On observe presque un arrêt entre les temps de saisie, de déplacement et d'insertion des tiges. On

remarque également de fréquentes syncinésies sur le membre passif. Ces syncinésies apparaissent lorsque Camille saisit ou insère les tiges. Elles sont ainsi observées presque systématiquement lors de chaque mouvement unimanuel. Enfin, à l'épreuve à deux mains Camille prend une tige puis l'autre, les mouvements de déplacement du bras semblent plutôt synchronisés; elle insère ensuite une tige puis l'autre.

3) Synthèse des résultats du pré-test au logiciel Présentation

Pendant la condition du patron en phase, Camille a systématiquement l'index gauche qui frappe avant le droit. De plus, il m'a semblé que la cadence du métronome était sans doute trop rapide pour Camille. Cette observation constitue un premier élément indiquant que le patron demeure instable chez la fillette. Comme le suggérait le décalage manifeste entre les index, les résultats démontrent un patron en phase peu précis, surtout en début de passation. D'autre part, des balancements du tronc en avant qui accompagnent les mouvements de flexion des index, sont apparus tout au long de la passation, témoignant des difficultés de dissociation segmentaire de l'enfant. Le pré-test a été une épreuve coûteuse pour Camille en condition en phase, j'ai décidé en conséquence de ne pas administrer la condition antiphase et de la considérer comme échouée.

Par rapport aux autres modalités sensorielles d'indiciage, la modalité auditive enregistre le plus de bénéfice pour régulariser la coordination au cours du mouvement (Annexe p 105). La performance de Camille est en effet comparable à celle de l'échantillon de référence. En revanche en continuation, autrement dit lorsque Camille doit elle-même générer le mouvement, ses performances se détériorent significativement (Annexes p 105 et 106). En comparant les observations durant la passation et les données recueillies par le logiciel, on peut déduire que la modalité visuelle n'a pas favorisé la régulation de la coordination. En effet de manière générale Camille ne regarde pas l'écran mais ses mains. La réalisation du patron apparaît peu précise (Annexe p 107). Enfin, l'indiciage multimodal semble avoir dégradé la performance, et provoqué un phénomène de surcharge cognitive dans la tâche de synchronisation. En revanche il semblerait que ce type d'indiciage favorise directement la mémorisation de la coordination (Annexe p 108). On peut également penser que Camille intègre de plus en plus le patron au fur et à mesure de la passation, ce qui expliquerait aussi pourquoi elle manifeste une coordination précise et très stable lors de l'épreuve de continuation suite à l'indiciage multimodal (dernier essai, Annexes p 105 et 108).

Ses différents résultats seront à reprendre lors de l'évaluation finale. La variabilité et la détérioration des résultats à l'ensemble de l'épreuve imposent de rester prudent quant aux bons résultats obtenus. Le patron en phase demeure probablement coûteux pour Camille et sera à stabiliser.

4) Conclusion du pré-test

On peut donc retenir du pré-test que :

- Les possibilités de dissociation de Camille sont présentes mais fragiles, comme en témoignent les accompagnements du tronc pendant la mobilisation des bras.
- La coordination en antiphase demeure impossible à réaliser.
- La coordination en phase apparaît peu précise, avec cependant une amélioration en fin de passation, ce qui montre le bénéfice général des signalisations externes pour réguler et intégrer une coordination. Camille se montre plus stable que les enfants de 7 ou 8 ans.

De plus, d'après l'ensemble des informations tirées du pré-test, il semble que Camille ne soit pas en difficulté pour se synchroniser avec un signal externe, mais que la composante spatiale du geste détériore la synchronisation des membres. En effet au PP les mouvements de déplacement des bras sont synchronisés. Ainsi la composante praxique (saisir ou insérer une cheville) ou spatiale du mouvement (orientation différente des articulations du membre) semble dégrader la synchronisation des mains. Enfin, on retrouve sans surprise de troubles moteurs énoncés par Preilowski et Kreuter chez les sujets agnésiques à savoir, une incapacité d'automatisation, une lenteur d'exécution, une asymétrie, l'imprécision relative du patron en phase et l'impossibilité d'effectuer des mouvements en antiphase.

En tenant compte des recherches théoriques et des résultats obtenus au pré-test, j'ai construit les exercices et les objectifs de la prise en charge (PEC) en psychomotricité. J'ai tenté de proposer des activités les plus cohérentes possibles avec la problématique de Camille et de m'adapter à ses particularités.

III

RÉÉDUCATION

Pour décrire la rééducation de Camille, nous commencerons par présenter de manière non exhaustive les principes éducatifs qui ont guidés la construction de la prise en charge (PEC). Dans un second temps nous exposerons les objectifs de la rééducation en psychomotricité, puis nous développerons par la suite les activités proposées.

A- Principes rééducatifs en lien avec la problématique

Proposer....

1. Proposer à l'enfant un indiçage sonore et/ou visuel afin de limiter les difficultés d'initiation du mouvement et, lui permettre de s'autoréguler grâce aux phénomènes de rythme, d'indiçage et de feedbacks sensoriels. Veiller à ce que l'enfant puisse expérimenter de façon durable et répétitive les situations proposées (indiçages et mouvements) afin qu'elle puisse intégrer et mémoriser les coordinations travaillées.

2. Respecter et proposer des patrons de coordination de plus en plus complexes, c'est-à-dire réaliser d'abord des coordinations (symétriques), alternées,(unimanuelle) puis asymétriques. Au quotidien, nous utilisons différemment nos deux mains, par exemple pour téléphoner, écrire, dévisser le bouchon d'une bouteille etc... La symétrie et la synchronie restent cantonnées à des activités particulières, j'ai décidé ainsi de ne pas réduire le travail sur les coordinations bimanuelles au seul patron en phase avec Camille. En effet, sachant que l'enfant présente des rigidités et des persévérations dans le comportement, je préfère ne pas insister en engageant un travail focalisé sur les mouvements bimanuels symétriques. Par exemple, Camille présente une tendance à décomposer les gestes miroirs au niveau des membres: elle tend les deux bras, effectue le geste sur une main, puis le second geste sur l'autre main. Je préfère profiter de l'occasion pour travailler sur le patron antiphase qu'elle produit et notamment en travaillant sur la qualité du geste manuel, plutôt que de la contraindre à « rebasculer » dans un patron en phase. Par ailleurs, les études sur le développement démontrent que la progression dans le champ de la motricité bimanuelle dépend des capacités de découplage des membres homologues. Afin de stabiliser le patron en phase, je propose à Camille de réaliser une coordination symétrique et synchrone de manière détournée, en l'insérant comme une base de jeux et non comme un objectif (voir activité d'imitation de positions de mains).

3. La capacité de synchroniser les deux parties du corps sera travaillée explicitement hors du domaine des coordinations bimanuelles. Camille présente une réception du saut pieds joints abrupte, peu stable, décalée, où les bras participent peu (du fait de leur raideur). Je décide ainsi, de faire du saut pied joint l'exercice de motricité générale de Camille. Cet exercice rentre dans le cadre d'une meilleure régulation tonique globale, il pourrait donc avoir une répercussion sur ses capacités d'équilibration et éventuellement sur les capacités de dissociations entre les différentes parties du corps.

S'ajuster à l'enfant, à ses particularités cognitives et personnelles...

1. Respecter le tour de rôle cher à l'enfant, ou la structuration type de la séance. Privilégier la démonstration aux indications verbales, utiliser un langage simple, recourir aux images mentales pour que l'enfant s'approprie la coordination proposée. De plus, je préfère limiter la mise en mots des stratégies que nous utilisons afin de laisser l'occasion à Camille de se les approprier. Dans cette optique, je consoliderai ce que propose Camille.

2. Prendre en compte sa fatigabilité, son rythme ainsi que son niveau perceptivo-moteur.

B-Objectifs

Nous visons à une amélioration quantitative et qualitative du mouvement, à savoir une diminution du temps de réaction et/ou d'exécution, et à gagner en précision et en fluidité. Chaque exercice possède des objectifs propres et en rapport direct avec nos axes thérapeutiques. Ainsi les capacités d'attention et d'exploration visuelle, mais aussi d'imitation ont été abordées.

Trois types d'exercices sont proposés à Camille sur 11 séances de 45 minutes. Nous commencerons par les décrire, puis nous présenterons la structure type de la séance. Enfin, dans un dernier temps un récapitulatif relatif à l'évolution des activités et des performances de Camille sera dressé. Il sera l'occasion de mieux présenter l'indicateur utilisé.

C-Description des exercices et de la structure de la séance

Exercice 1: Saut pieds joints au-dessus d'une corde

L'enfant saute à pieds joints au-dessus d'une corde, en enchaînant les sauts de part-et-d'autre de cette dernière. Il s'agit ici de travailler la motricité globale, notamment l'équilibre dynamique et la régulation tonique. Nous nous sommes d'abord servis d'un métronome auditif et du trampoline, puis dans un second temps, nous avons travaillé le saut au sol avec des clochettes aux chevilles, et des cerceaux pour indiquer le déplacement de part et d'autre de la corde.

Exercice 2: Soleils

L'enfant tient dans ses mains une craie de couleur différente. Elle doit réaliser sur le tableau vertical devant elle un soleil, en traçant chacun des rayons à partir d'un point central et en alternant le tracé main gauche puis main droite.

L'exercice est proposé afin de réaliser un travail en antiphase au niveau des membres supérieurs : il s'agit pour Camille d'être fluide dans la production de mouvements alternés main gauche/main droite, et d'enchaîner les mouvements. L'activité nous a permis d'aborder le contrôle graphique et dans une moindre mesure, l'exploration visuelle ainsi que le traitement visuo-constructif (répartition équilibrée des rayons du soleil par exemple). L'indiciage proposé est dans un premier temps principalement visuel, puis dans un second temps sonore.

Exercice 3: Imitation de positions de mains

L'enfant est assise, une séquence de 2 ou 3 positions de mains bimanuelles ou unimanuelles est présentée devant elle verticalement, et à hauteur des yeux. Après avoir identifié ces gestes, l'enfant les insère dans un rythme pour les produire : 3 frappes bilatérales sur les genoux et prise de position 1, puis 3 frappes sur genoux et position 2, puis 3 frappes sur genoux et position 3. La séquence est guidée par chacune de nous à tour de rôles. Une séquence est proposée par séance.

Exemple d'une séquence de 3 positions de mains travaillée en séance:

3 frappes bilatérales sur les genoux puis geste 1:



3 frappes sur les genoux puis geste 2:



3 frappes sur les genoux puis geste 3:



Le niveau de complexité de la séquence a augmenté au fur et à mesure de la rééducation, en proposant d'abord des positions symétriques, puis unimanuelles et enfin asymétriques. L'idée consiste ici à produire soi-même l'indiçage (les 3 frappes rythmées sur les genoux). C'est notamment à travers cette idée que je souhaite accentuer le phénomène de généralisation : proposer implicitement une stratégie sensée pour Camille, qu'elle pourrait réutiliser d'elle-même. L'objectif consiste à enchaîner une séquence de 3 prises de position sans interférences (persévérations d'une prise de position à l'autre, ou encore d'une main à l'autre dans le cas de positions bimanuelles asymétriques). Ce travail permet également de développer les capacités d'imitation de Camille, qui avec le temps s'améliorent.

La séance se passe toujours de la même façon pour que Camille puisse anticiper sur le déroulement de la séance et qu'elle comprenne ce qu'elle doit faire.

Structure type de la séance:

Camille arrive en séance, nous prenons le temps de prendre des nouvelles, puis nous mettons les clochettes aux chevilles, ce qui symbolise le début de la séance. Un rappel du programme est effectué. Nous commençons toujours par les soleils. Nous travaillons ensuite le saut à la corde (3 passages chacune environ), puis nous passons au jeu des positions de mains (en tout 6 essais). Nous reprenons ensuite le saut à la corde (3 passages). S'il reste du temps, car Camille est une fillette lente, nous réalisons en fin de séance une activité choisie par l'enfant.

Nous présentons maintenant un rapide récapitulatif des séances et de leur évolution.

D- Évolution et récapitulatif de l'exercice

Saut pieds joints au-dessus d'une corde

En début de rééducation, on notait rapidement une fatigabilité. La réception des sauts était abrupte, instable et décalée. De plus aucune participation des bras n'était présente et le regard se fixait au sol ou sur les pieds. Le temps de préparation des sauts était important (également en raison d'une certaine appréhension), et Camille éprouvait des difficultés pour moduler ses sauts. L'enfant peut désormais enchaîner des sauts plus rapidement, de manière plus contrôlée. La réception est stabilisée et synchrone. La modulation est plus fine et la participation des bras est en cours. Camille ne peut cependant pas enchaîner directement les sauts, par reprise directe de l'impulsion.

Concernant l'indiçage et les aides utilisées

Nous avons d'abord utilisé le trampoline, essentiellement pour obtenir un renforcement musculaire avant d'aborder le saut à partir du sol. Camille devait caler le rythme de ses sauts en suivant le tempo imposé d'un métronome auditif.

Nous sommes ensuite passées au sol. Il a fallu familiariser l'enfant à sauter de part et d'autre au-dessus d'un objet en mouvement : c'est-à-dire réduire l'appréhension, mais aussi savoir prendre la position adéquate par rapport à la corde pour pouvoir enchaîner les sauts, et arriver à sauter de part et d'autre. L'utilisation de bracelets de clochettes aux chevilles a permis d'assurer un feedback sensoriel auditif au cours du mouvement. L'impact a été immédiat, dès les premiers sauts la réception des deux pieds s'est synchronisée d'elle-même. Des cerceaux ont également servi pour indiquer les déplacements de part et d'autre de la corde (indiçage de la trajectoire), ils ont été retirés par la suite.

A partir de ce moment-là, un travail sur le saut en lui-même, à partir d'une hauteur de corde d'environ 10 cm est engagé. Nous avons d'abord abordé la réception en modulant les différents types de sauts (réception lourde, réception légère, ici double indiçage clochette et poids du corps), puis dans un deuxième temps, un travail sur la participation des membres supérieurs s'est engagé. L'utilisation d'images mentales concrètes à aider Camille pour s'approprier les consignes. L'exigence de vitesse n'a été que très partiellement abordée (plus de détails, voir Annexe 91).

Soleil

Il a fallu 5 séances à Camille pour fixer la procédure de l'exercice. A partir de ce moment-là, l'alternance entre main gauche et main droite paraît moins coûteuse : elle s'enchaîne plus rapidement et Camille ne fait plus d'erreurs. Avec le temps et la répétition, Camille montre peu à peu des progrès au niveau de la dissociation entre le buste et les membres supérieurs. Ainsi, l'enfant n'est plus « embarquée » latéralement par ses mouvements, le tronc reste fixe. On retrouve également une meilleure anticipation de la répartition spatiale des rayons du soleil. Enfin au niveau graphique, Camille peut produire plus souvent une trace plus fluide, réalisée d'une seule traite et plus rectiligne. L'introduction d'éléments nouveaux (nouvelles consignes, travail sur un plan horizontal, ou sur feuille) déstabilise toujours la performance de Camille, la nouveauté la place systématiquement en double tâche. En fin de rééducation la trace paraît également plus rapide.

Concernant l'indiçage...

Dans un premier temps l'indiçage proposé était visuel, et ponctuel: il marquait le point d'arrivée à atteindre avec la craie. Ce type d'indiçage a sans doute facilité l'initiation du geste, notamment en facilitant la programmation spatiale de la trajectoire du mouvement. Ainsi l'objectif des premières PEC sur cette activité consistait surtout à viser avec précision le point d'arrivée indicé (la qualité de la trace passait donc en arrière-plan).

J'ai ensuite proposé à Camille de réaliser le traçage de façon autonome (sans indiçage du point d'arrivée) mais en le vocalisant. Ces productions sonores n'ont pas été reprises de façon durable par l'enfant. Les premières traces fluides et droites sont apparues, principalement avec la main gauche, et ce, notamment parce que l'alternance de la main gauche et de la main droite paraissait mieux intégrée.

Nous nous sommes ensuite focalisées sur le bruit du traçage au tableau. Cet intérêt pour le bruit a émergé conjointement avec un travail sur la modulation de la longueur des traits : une trace courte faisait un bruit différent d'un long tracé. En s'amusant avec le bruitage (le vocaliser, deviner la longueur de la trace en écoutant seulement le bruit) et en se focalisant dessus, Camille a bénéficié des avantages d'un feedback auditif en cours du mouvement, bien plus réel et ajusté à sa production que celui que je prononçais à haute voix. La question de la vitesse de la trace a ainsi émergé. (Pour plus de détails, voir Annexe p93).

Imitation de position de mains

Il a fallu 3 séances avant que Camille n'automatise la procédure rythmique de base (frapper 3 fois les genoux avant de réaliser les positions de mains). Elle a d'ailleurs mis rapidement et spontanément en place le fait de compter à voix haute (et fort surtout en début de PEC) en même temps qu'elle frappait ses genoux, ce qui semblait faciliter l'enchaînement des gestes. Nous avons donc gardé cette transcription auditive et motrice en un rythme verbal tout au long de l'année. L'introduction de mouvements unimanuels dans la séquence a permis d'aborder la notion d'inhibition comportementale. Il s'agissait dans ce cas-là de ne pas bouger la main passive. En fin de rééducation, les gestes symétriques sont toujours décomposés, mais globalement les prises de positions paraissent plus fines avec moins de persévérations d'une main à l'autre. De la même manière, l'enfant ne persévère plus d'une prise position à une autre. Au fur et à mesure des séances Camille est davantage capable de s'auto-corriger au deuxième essai. Enfin, on note moins de syncinésies controlatérales lors de la réalisation de mouvements unimanuels. La procédure globale s'enchaîne également plus rapidement, notamment parce que le temps de préparation et d'exécution du mouvement semblent moins longs.

Concernant l'indiçage...

L'idée dans cette activité est de produire soi-même un rythme pour faciliter l'initiation du mouvement. Dans un premier temps les trois frappes bilatérales sur les genoux augmentées par le phénomène de comptage, ont constitué le principal indiçage du jeu. Plus tard, lorsque Camille présente la position, elle vocalise également la réalisation («mmmh»). Dans cet exercice il n'y avait pas de feedbacks en cours de réalisation du mouvement. Compte tenu de l'effet de surcharge de l'exercice, (patron en phase, en antiphase, motricité digitale) le travail sur la motricité fine a dû considérablement être aménagé pour s'adapter au niveau perceptivo-moteur et cognitif de l'enfant. En effet le codage spatial des différents mouvements à réaliser dans différents plans a provoqué une surcharge de traitement, impactant le temps de réaction, le temps d'exécution et la qualité du geste. Il a donc fallu décomposer et travailler pas à pas, sur des aspects précis.

Aménagements de l'activité au fil des séances:

- L'exercice proposé s'inspire du jeu Hand's Up® où, chaque carte à imiter représente ce que l'enfant peut observer directement de ses mains, sans transposition (sans rotation mentale). Pour que Camille déchiffre correctement les positions de mains proposées dans notre activité, il a fallu respecter ce point de vue direct (égocentrique).
- De plus, notre activité a été centrée autour du poignet et de la main, mais non sur les bras.
- Les gestes étaient réalisés devant soi, d'abord sur un plan horizontal (parallèle aux genoux), puis plus tard selon un plan vertical.
- Dans un premier temps, j'ai proposé des gestes qui se différenciaient principalement au sein d'une même séquence par l'orientation des poignets (paumes vers soi, ou vers le sol), les doigts restant globalement dans la même position.
- Puis dans un second temps, un travail de dissociation digitale entre chaque position a été mené où le poignet gardait globalement la même orientation. Compte tenu des difficultés de motricité fine de Camille, le travail sur la dissociation digitale s'est porté sur des réalisations grossières : d'abord tous les doigts d'une même main serrés/écartés, puis tous les doigts tendus/repliés (plus de détails, voir Annexe p 96).

Les aménagements présentés ci-dessus pointent que l'activité était relativement ambitieuse pour le niveau perceptivo-moteur de Camille et aurait pu être pensée différemment. Nous proposons à présent d'analyser les résultats de l'enfant en fin de rééducation.

IV TEST-RETEST

Pour mesurer l'impact de la rééducation, je compare les résultats de Camille recueillis à la phase de pré-test (ligne de base) à ceux obtenus à 11 séances d'intervalle durant le post-test. Dans un premier temps, nous exposerons et analyserons les résultats de Camille. En fonction de ces résultats et des observations cliniques, nous conclurons par la suite sur nos hypothèses de travail ainsi que sur les bénéfices et les limites de la PEC.

A - Résultats aux items du Subtest IV de la WACS

L'évolution de la stabilité posturale et des performances d'équilibration de Camille est représentée dans le tableau ci-dessous.

Équilibre unipodal	Performance initiale	Performance finale
Pied gauche	3 sec	5 sec
Pied droit	3 sec	5 sec

Saut Cloche-pied	Performance initiale	Performance finale
Jambe gauche	sur place	En avant, vers la droite
Jambe droite	En avant, vers la gauche	En avant, vers la gauche

Camille enchaîne spontanément (sans reprise de l'impulsion) 8 sauts à cloche-pied sur place, en appui sur le membre gauche. La réception est lourde, les bras sont serrés près du corps, et de plus en plus relevés.

B - Résultats au Purdue Pegboard

Le principe du test-retest standard s'établit d'après la comparaison entre le 3eme essai du pré-test et le 1er essai du post-test pour chaque item (Annexe p 110), afin de ne pas inclure dans les résultats l'effet d'apprentissage consécutif à la phase de post-test. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

PURDUE PEGBOARD	Test / Retest niveau 10 ans
<i>Main Dominante (MD)</i>	-0,1DS
<i>Mains non Dominante (MnD)</i>	+0,8DS
<i>2 mains (2 M)</i>	+2,3DS
<i>MD/ MnD/ 2M</i>	+1,4DS

Le test-retest montre un bénéfice significatif de la PEC (+ 1,4 DS) sur la motricité fine en générale, avec notamment une bonne progression à l'item des deux mains (+2,3 DS), une amélioration relative de la main droite (+0,8 DS), mais aucune sur la main gauche (-0,1 DS). Concernant la main droite (+0,8DS), une petite possibilité d'accélération se profile (une tige insérée en plus). La main gauche manifeste une capacité d'automatisation du geste relativement plus constante entre les différents essais. Camille insère 2 tiges en plus sur la passation totale. Cependant cette amélioration demeure insuffisante pour être significative, notamment parce qu'il s'agit de la main dominante de Camille (-0,1 DS). En conséquence, l'asymétrie notée entre main gauche et main droite reste relativement identique (écart de +1,3 DS noté au pré-test, et +1,4 DS lors du post-test, voir Annexe p 110).

Au niveau clinique, on remarque que les syncinésies sont moins présentes durant les épreuves unimanuelles, ce qui suggérerait une meilleure intégration des processus inhibiteurs chez Camille. D'autre part, Camille s'est spontanément mise à compter haut et fort à partir de l'épreuve main droite et pendant l'épreuve à deux mains. Ce comportement semble corrélé à la fluidité de mouvement que j'ai pu constater chez Camille lorsqu'elle comptait. Dans ces moments-là, elle paraissait absorbée par l'activité, les mouvements de saisie et d'insertion ont même été parfois synchronisés et l'enchaînement global entre mouvements de saisie, de déplacement des bras et d'insertion des tiges paraissait plus fluide et moins décomposé. Cette dernière observation serait donc en faveur d'un bénéfice de l'indiçage auto-généré pour rythmer soi-même une coordination et ainsi mieux se réguler. La mesure de ce fait demeure cependant clinique.

C - Analyse des Résultats au logiciel Présentation

1) Traitement des résultats

Comme dit précédemment, l'épreuve a été coûteuse pour l'enfant. Les difficultés perceptivo-motrices et cognitives de Camille ont généré des comportements inadaptés durant la tâche et des valeurs aberrantes sur l'ensemble des essais. Ces valeurs ont été retirées pour traiter les résultats. Pour la démarche de test-retest, nous comparons systématiquement l'essai numéro 2 de chaque modalité d'indiçage, entre la phase de pré-test et de post-test. En effet, il constitue généralement l'essai où Camille est la plus performante, car elle maintient mieux son attention sur la durée totale de l'essai et manifeste moins de signe de fatigabilité. Nous rappelons également que la passation du patron en antiphase était considérée comme échouée au pré-test. En conséquence, nous comparons les résultats de Camille à ceux de l'étalonnage non normé dont nous disposons pour la condition en synchronisation (enfants de 7 et 8 ans). Pour plus de clarté, les résultats sont représentés sous forme de graphiques et de tableaux explicités, ils sont joints en annexes (Annexes p 112 à 120). Nous présenterons dans un premier temps, les résultats relatifs à l'intégration des patrons en phase puis en antiphase. Les performances selon les différentes modalités sensorielles d'indiçage seront comparées par la suite.

2) Résultats pour la coordination en phase

Camille a gagné en précision. Un manque de flexibilité mentale semble avoir cependant dégradé les résultats en début de passation (Annexe p 114), et ce, plus particulièrement pour passer de la stratégie où l'on se synchronise à rythme imposé, à une stratégie où l'on génère soi-même le mouvement. Camille a bien intégré et mémorisé le patron en phase, elle se révèle précise et extrêmement stable par rapports aux enfants de 7,8 ans. Ses résultats en continuation en modalités auditive et multimodale le démontrent (Annexes p 112 à 116).

3) Résultats pour la coordination en antiphase

Camille n'avait pas réalisé la partie du programme consacrée au patron en antiphase lors du pré-test, étant donné les difficultés qu'elle manifestait en condition en phase. La possibilité même de passation de la condition en antiphase durant le post-test montre en soi des progrès.

Les résultats de Camille pointent cependant que le patron antiphase n'est pas aussi maîtrisé que chez les enfants auxquels elle est comparée. L'enfant se révèle peu précise et variable, en synchronisation comme en continuation sur la majorité des essais (Annexes p 117 à 120). D'autre part, des balancements latéraux des yeux, de la tête et du buste sont notés. Ils diminuent au fil de la passation, l'axe parvient peu à peu à se stabiliser, mais Camille a toujours besoin d'un contrôle visuel sur ses mains. Il semble par ailleurs, que Camille présente une difficulté d'ordre rythmique de la main gauche. En effet, l'enfant regarde plus fréquemment cette main et j'ai parfois l'impression qu'elle veut fléchir l'index sans y arriver. Cette observation serait cohérente avec les résultats obtenus au Purdue Pegboard, démontrant une asymétrie fonctionnelle en défaveur de la main gauche. J'ai également pu observer au niveau clinique, que Camille retournait fréquemment sur le patron en phase. Étant donné qu'elle l'a acquis, il semble logique qu'elle « rebascule » dans ce mode de coordination, parce qu'il est plus stable. Il m'a semblé par moment qu'un phénomène de persévération pouvait également rentrer en jeu (manque de flexibilité mentale) et participer à la difficulté de produire un patron en antiphase.

4) Résultats concernant les modalités sensorielles de l'indiciage

Concernant nos hypothèses sur l'efficacité des différentes modalités d'indiciage pour régulariser et intégrer une coordination, il semble que la modalité visuelle n'ait pas facilité les performances en synchronisation comme en continuation. Autrement dit, les stimuli visuels proposés n'ont ni régulés la performance en cours de mouvement, ni favorisés sa mémorisation. On observe par exemple que les performances de Camille se dégradent significativement en condition visuelle lors de la réalisation du patron en phase au post-test, alors que celui-ci semble acquis dans les autres modalités d'indiciage. La distractibilité rentre en jeu pour expliquer le manque d'attention visuelle aux stimuli. Mais il s'ajoute également la nécessité du contrôle visuel des mains, caractéristique des individus présentant une ACC.

L'indiciage multimodal quant à lui, semble surcharger le traitement en cours de réalisation. Ainsi lors du pré-test, le patron en phase était moins régulé en condition multimodale qu'en condition auditive (Annexes p 112 et p 116). Lors du post-test Camille a ralenti son tempo pour produire la coordination (Annexe p 116). Il semble donc que la condition multimodale ne favorise pas la régulation de la réalisation motrice au cours du mouvement. De fait, elle oblige certainement Camille à rentrer dans un phénomène de double tâche pour traiter à la fois les informations auditives et visuelles. En revanche, il apparaît que l'indiciage multimodale a favorisé la mémorisation d'informations spatio-temporelles de la coordination, si l'on tient compte des résultats systématiquement performants de Camille en continuation pour les patrons en phase (lors du pré-test et du post-test). En effet, le double traitement de l'information implique probablement un double encodage de l'information et par conséquent une meilleure mémorisation. Cette hypothèse se vérifie lors de la passation pour le patron en antiphase: les résultats de Camille sont plus stables en continuation qu'en synchronisation (Annexe p 120).

Enfin la modalité auditive semble être la plus efficace pour réguler une coordination en cours de mouvement, et ce, d'autant plus que le patron n'est pas maîtrisé chez l'enfant. Le bénéfice de l'indiciage auditif est en effet d'autant plus flagrant lors du pré-test, lorsque Camille ne produit pas encore le patron avec une précision constante (Annexes p 112). De même Camille enregistre la meilleure performance en synchronisation lors de la modalité auditive pour le patron en antiphase (Annexe p119).

V

CONCLUSION

En regard des résultats obtenus à l'item d'équilibre unipodal et du saut à cloche-pied de WACS, on peut affirmer que Camille est plus stable. Cependant l'épreuve du saut à cloche-pied démontre que la régulation tonique entre le buste, les membres inférieurs et les membres supérieurs (recroquevillés et relevés) n'est pas encore suffisante pour que Camille puisse les mobiliser de manière plus indépendante pendant l'action. Cette constatation se vérifie lors de la passation du logiciel Présentation : la présence de balancements en avant ou de manière latérale du tronc qui accompagnent et facilitent le mouvement des index, confirme l'idée selon laquelle les capacités de dissociation segmentaire et le déliement digital sont encore limitées. On retient également du logiciel Présentation que l'indépendance à l'égard du contrôle visuel de l'action est faible. De la même manière, le déficit enregistré sur la main gauche au PP et le problème rythmique perçu constituent d'autres paramètres qui expliquent directement les difficultés de réalisation d'un patron antiphase précis et stable. Ces difficultés propres aux individus présentant une ACC ont été particulièrement mises en évidence lors cette passation.

En conclusion ces résultats montrent que l'indigage a été bénéfique pour Camille pour acquérir le patron en phase dans le domaine des coordinations bimanuelles. En revanche, la dissociation segmentaire et la dépendance à l'égard du contrôle visuel, ainsi que les capacités de motricité fine de chaque main sont probablement trop peu développées pour favoriser la réalisation de coordinations alternées efficaces.

Bénéfices et limites des exercices

Concernant la dissociation segmentaire, l'exercice de saut au-dessus d'une corde a permis à Camille de mieux gérer son équilibre et d'être plus stable. Cependant on peut penser que la coordination du saut pied joint, en tant que mouvement global symétrique et synchrone des membres, n'a pas réellement permis à l'enfant de travailler sur la dissociation segmentaire entre le tronc et les membres supérieurs. La stabilité de Camille étant aujourd'hui mieux contrôlée, un travail plus différencié au niveau des deux hémicorps, le saut à cloche-pied par exemple mais également des parcours moteur variés seraient sûrement profitables à Camille.

Le jeu d'imitation de positions de mains a sans doute permis de stabiliser le patron en phase, en proposant la frappe simultanée et chantonnée des genoux avec les mains comme rythme de base du jeu. La régulation s'est ici faite de manière relativement spontanée, c'est-à-dire avec la répétition et la stratégie de compter les frappes. L'attention était principalement portée sur les positions de mains à imiter. Cet exercice m'a permis de placer Camille dans une situation complexe mais néanmoins relativement écologique. Ainsi j'ai pu mieux observer et comprendre les différentes composantes motrices qui gênent la réalisation de coordinations bimanuelles chez Camille. Les aménagements de l'activité ont ainsi mis en exergue les difficultés relatives au positionnement et à l'orientation du bras et du poignet, et celles liées aux capacités de dissociation digitale qui perturbent la réalisation de mouvements symétriques, unimanuels ou asymétriques. Un travail ciblé sur la dissociation digitale, de la manière la plus ludique possible aurait dû être considéré pour permettre à Camille de progresser davantage. Il apparaît aujourd'hui incontournable.

Pour terminer, un travail complémentaire de précision visuo-motrice principalement réalisé sur la main gauche, permettrait probablement de consolider le cheminement vers une motricité bimanuelle plus efficace (renforcer les capacités du membre dominant, réduire l'asymétrie fonctionnelle entre les deux mains).

A propos de l'indiciage

Les rythmes auditifs ont été efficaces pour aider Camille à se réguler au cours de la tâche, lors de la passation informatisée. Pendant la prise en charge, ce sont également les stimulations auditives et en particulier les feedbacks en cours du mouvement qui ont particulièrement plu à Camille (le bruit de la trace ou celui du poids du corps, des clochettes). La modalité visuelle à l'épreuve du logiciel Présentation n'a pas porté d'intérêt pour l'enfant, mais l'indiciage visuel de la trajectoire en séance a facilité l'initiation du mouvement en général (pointeur lumineux, cerceaux). Enfin, la technique de générer soi-même un rythme a été reprise hors des exercices, spontanément par l'enfant. Il semblerait donc que Camille ait acquis une stratégie pour favoriser l'initiation et la régulation de ses mouvements. La stratégie semble corrélée à l'amélioration de la fluidité du mouvement. Le bénéfice de ce type d'indiciage n'est cependant pas mesuré au niveau expérimental mais au niveau clinique, son implication dans l'amélioration des coordinations demeure imprécise.

VI

DISCUSSION

Différents éléments viennent nuancer et relativiser les résultats précédemment décrits. En effet Camille va à l'école, elle est entourée par sa famille et bénéficie de nombreuses rééducations en dehors de la psychomotricité. On ne peut exclure le phénomène de développement et de maturation liées aux interactions avec l'environnement pendant les 6 derniers mois pour expliquer les progrès constatés concernant les prérequis aux coordinations bimanuelles. D'autre part, les modalités d'évaluation des performances de Camille auraient pu être menées différemment ou de façon plus précise. Comme je l'ai déjà signalé, l'impact d'un rythme auto-généré comme indiçage du mouvement par rapport à d'autres types d'indiçage demeure imprécis. De plus, une évaluation rigoureuse et standardisée des syncinésies d'imitation présentes sur le membre passif aurait pu être pertinente pour appuyer mon observation clinique, quant à la diminution des syncinésies notée en séance et lors du post-test. Dans le même souci, j'aurais également pu la mettre en rapport avec une évaluation de l'inhibition comportementale (test jour nuit par exemple) chez l'enfant.

L'origine des difficultés relatives à la réalisation du patron de coordination en phase en début de rééducation reste imprécise. Je suppose cependant qu'elles proviennent de l'intrication de plusieurs éléments. En premier lieu, on peut penser que les difficultés cognitives de l'enfant entrent en jeu. En effet, on sait qu'une fragilité des capacités intellectuelles amène des difficultés d'initiation et de régulation du mouvement. Par ailleurs, le phénomène de contrôle mal ajusté de la tâche entre probablement dans le cadre des difficultés cognitives. A ces premières difficultés s'ajoutent sans doute le trouble tonique et les difficultés de motricité manuelle de l'enfant. Enfin, les travaux de Fagard (2001) évoquent la part de contrainte liée à la latéralité manuelle pour expliquer les difficultés en jeux dans l'acquisition de coordinations bimanuelles. Fagard rappelle que la synchronisation absolue entre deux mains n'est que relative chez l'individu ordinaire. Si à l'œil nu, on observe une simultanéité de réponses, des mesures fines réalisées au niveau expérimental montrent qu'une main démarre systématiquement avant l'autre. En effet le système manuel se caractérise par une asymétrie fonctionnelle. Les individus présentent en général une main préférée, utilisée plus fréquemment mais aussi de manière plus performante que l'autre. Enfin une différence d'attention portée aux deux mains pourrait également expliquer le phénomène. En effet, on sait que spontanément, les individus accordent plus d'attention à leur main préférée/dominante (Honda,

1982, cité par Fagard, 2001). On pourrait donc supposer que le décalage manifeste entre les 2 index en début de rééducation chez Camille provienne de contrainte liée à la latéralité manuelle et que ce phénomène est sans doute majoré par les difficultés cognitives et perceptivo-motrices de l'enfant.

En ce qui concerne l'acquisition des patrons en phase et en antiphase, Camille n'a sans doute pas pu stabiliser la coordination en antiphase pour plusieurs raisons, qui sont indépendantes des limites de la rééducation telle qu'elle a été proposée. Compte tenu de l'ensemble des difficultés de Camille, elle aurait sans doute eu besoin d'une pratique plus intensive (plus d'essais) et plus longue (sur une période supérieure à 6 mois), d'autant plus que le patron en phase n'était pas stable. En effet, il apparaît que l'acquisition et la mémorisation de nouvelles coordinations bimanuelles chez les patients présentant des troubles moteurs et des troubles cognitifs demandent de «construire le nouveau sur l'ancien» (Tallet, 2008, p 136). Aussi, la stabilisation des comportements de base semble nécessaire avant de pouvoir rentrer dans l'apprentissage de coordinations plus complexes. Il fallait donc stabiliser le patron en phase avant de pouvoir stabiliser le patron en antiphase. En sachant que l'on observe généralement durant la phase d'apprentissage d'un nouveau comportement moteur, des retours au patron stabilisé, l'acquisition du patron en antiphase demanderait aujourd'hui de travailler temporairement sur l'inhibition de la coordination en phase.

Concernant les différentes modalités sensorielles d'indiciage, le recours au logiciel Présentation a permis de souligner que la modalité auditive semble la plus efficace pour réguler en cours de mouvement une coordination non maîtrisée. Par ailleurs, la passation a mis en avant le bénéfice de l'indiciage multimodale pour la mémorisation d'une coordination. Le bénéfice ne s'observe pas lors de la tâche même de synchronisation (l'enfant rentre probablement dans un phénomène de double tâche), mais lorsque l'enfant génère lui-même le mouvement. Cette hypothèse est également évoquée dans l'analyse de l'échantillonnage des enfants de 7 et 8 ans.

Plus généralement, il semble que les difficultés d'intégration, de régulation et de mémorisation des composantes spatio-temporelles des coordinations, dues à l'ACC mais aussi aux difficultés cognitives ont été contournées via le recours à l'indiciage. Outre les difficultés rencontrées en motricité unimanuelle ou bimanuelle, Camille a tendance à mal répartir le contrôle sur la tâche. Ses actions motrices sont souvent mieux régulées lorsqu'elles sont spontanées ou réalisées sans que Camille n'y prête de l'attention. Le recours à l'indiciage m'a évité d'aborder la régulation du contrôle du mouvement de manière purement cognitive avec Camille. De cette manière, nous avons sans doute pu contourner les phénomènes de contrôle mal ajusté lors d'activités nouvelles ou non

maîtrisées. D'autre part, en se focalisant sur des informations visuelles et auditives Camille a surement bénéficié d'une phase de préparation du mouvement peu coûteuse, et a sans doute pu mieux réguler ses mouvements car ce type d'informations demeure plus concrètes que celle issues du corps. L'indiçage rentre donc en adéquation avec le principe d'affordance de Gibson : les signalisations externes ont permis de mettre du sens sur l'activité (on écoute ou on regarde, pour faire). Par ailleurs en tant que modification de l'environnement, les indiçages ont sans doute agit comme une contrainte facilitatrice. L'indiçage visuel du point d'arrivée a imposé, mais a surtout concrétisé la trajectoire du mouvement. L'enfant sait mieux ce qu'il doit produire, où et comment.

OUVERTURE

L'impact et le bénéfice de l'indiçage varient en fonction de la modalité sensorielle d'indiçage et de la tâche (Debaere et al 2003). On pourrait compléter l'affirmation en précisant que le bénéfice de l'indiçage pourrait également dépendre du type d'indiçage utilisé. En effet des différences de résultats pourraient être constatées en comparant les performances motrices d'un individu produites lors d'un rythme imposé ou lors d'un rythme auto-généré. De la même manière, une différence de résultats pourrait probablement être observée entre les rythmes précédemment cités, les feedbacks sensoriels en cours du mouvement et la signalisation du point d'arrivée. L'indiçage apparaît comme une technique de rééducation peu coûteuse, efficace et à la portée de populations présentant un large panel de troubles. Spontanément, il est utilisé par la plupart des rééducateurs dans le champ de la réadaptation motrice, mais sans toujours savoir précisément pourquoi (Perron-Magnan, 2012). Des études expérimentales comparant davantage les différents types d'indiçages entre eux et selon différentes tâches, permettraient d'en apprendre plus sur les caractéristiques respectives de chacun facilitant la production motrice. Ceci favoriserait sans doute une utilisation plus fine et plus variée auprès des professionnels de la rééducation et ce, en fonction de la pathologie présentée par leurs patients.

BIBLIOGRAPHIE

American Psychiatric Association (2003). *DSM-IV-TR Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux : Texte révisé*. Masson.

Barral, J., Albaret, JM. & Hauert, CA. (2009). Des syncinésies aux mécanismes d'inhibition motrice chez l'enfant. *Thérapie psychomotrice et recherches*, n° 157, 2009.

Beguet, M. & Albaret, J.-M. (1998). Etalonnage du Purdue Pegboard sur une population d'enfants de 6 à 10 ans. *A.N.A.E.*, 1998 : 46 : 19-25.

Chiappedi, M. & Bejor, M. (2010). Corpus callosum agenesis and rehabilitative treatment. *Italian Journal of Pediatrics*, 2010, 36 : 64.

Chouchane, M., Benouachkou-Debuche, V., Giroud, M., Durand, C. & Gouyon, J.B. (1999). Les agénésies du corps calleux : Aspects étiologiques, cliniques, moyens de diagnostic et pronostic. *Archives Pédiatrie* 1999 : 6 : 1306-11.

Colombié, B. (2008) Enseignement de psychomotricité du nourrisson de 1ère année, *Syllabus n°1*. Université Paul Sabatier Toulouse III, Faculté des sciences médicales Rangueil, Institut de formation en Psychomotricité.

Crespel, M. (2007). « *Etude de cas : Clément, un enfant atteint d'une agénésie du corps calleux ainsi que d'une hypoplasie du cervelet* ». Mémoire en vue de l'obtention du D.E. de psychomotricien. Université Paul Sabatier Toulouse III.

Debaere, F., Wenderoth, N., Sunaert, S., Van Hecke, P. & Swinnen, S. P. (2003). Internal vs external generation of movements: Differential neural pathways involved in bimanual coordination performed in the presence or absence of augmented visual feedback. *NeuroImage* 19 (2003) 764-776.

Dalla Bella, S (2012). Support de cours donné en Sciences du Mouvement. *Effets du couplage perception-action en performance musicale et en rééducation du mouvement*. Université Toulouse III – Paul Sabatier PRISSMH-F2MH, Toulouse.

Fagard, J. (2001). *Le développement des habiletés de l'enfant : Coordination bimanuelle et latéralité*. CNRS Editions, Paris, 2001.

Fraisse, P. (1948). Rythmes auditifs et rythmes visuels. *L'Année psychologique*, 1948 Vol. 49, p. 21-42

Gatcho Ngouze, M. (2008). « *Les agénésies du corps calleux chez l'enfant : A propos de 19 cas* ». Thèse de doctorat en médecine. Université Cadi Ayyad, Faculté de médecine et de pharmacie, Marrakech, Maroc.

Gazzaniga, M., Ivry, R.B. & Mangun, G.R. (2001). Neurosciences Cognitives. Chapitre X : Le contrôle moteur. Analyse fonctionnelle des systèmes moteurs et des troubles du mouvement. *Comment fonctionne le cerveau ? Se taper sur la tête en se frottant le ventre*. Franz et al, (1996) p 408 et 409.

Kieffer, V., Kieffer, F., Moutard, M., Feingold, J., Lewin, F., Adamsbaum, C., Campistol, J., Plana, Y., Valleur-Masson, D. & André, M. (2005). Pronostic de l'agénésie isolée du corps calleux. *Les JTA*. 2005, Médecine Foetale, Malformations congénitales.

Lee, S.J., Yoo, J.Y., Ryu, J.S., Park, H.K. & Chung, S.J. (2011). The effects of visual and auditory cues on freezing of gait in patients with Parkinson disease. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, Vol. 91, n° 1, January 2012.

Mordefroid, M., Grabar, S., André Ch., Merzoug, V., Moutard, ML. & Adamsbaum, C. (2004). Agénésie partielle du corps calleux de l'enfant. *Journal de Radiologie*, 85 : 1915-26.

Moutard, M.L (2007). L'Agénésie isolée du corps calleux : Agénésie calleuse, Dysgénésie du corps calleux. *Orphanet*. En ligne: www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/AgenesieIsoleeCorpsCalleuxFRfrPub447v01.pdf.

Perron-Magnan, T. (2012). Rééducation de la maladie de Parkinson : Des guidelines à la pratique rééducative de ville. *Kiné actualité*, n° 1274 et 1275. En ligne : <http://www.kineactu.com>.

Pezet, E. (2012). « *Effets de la pratique de mouvements continus et cycliques sur l'apprentissage de coordinations dynamiques générales : cas de deux enfants porteurs d'un trouble d'Acquisition des Coordinations* ». Mémoire en vue de l'obtention du D.E. de psychomotricien. Université Paul Sabatier Toulouse III.

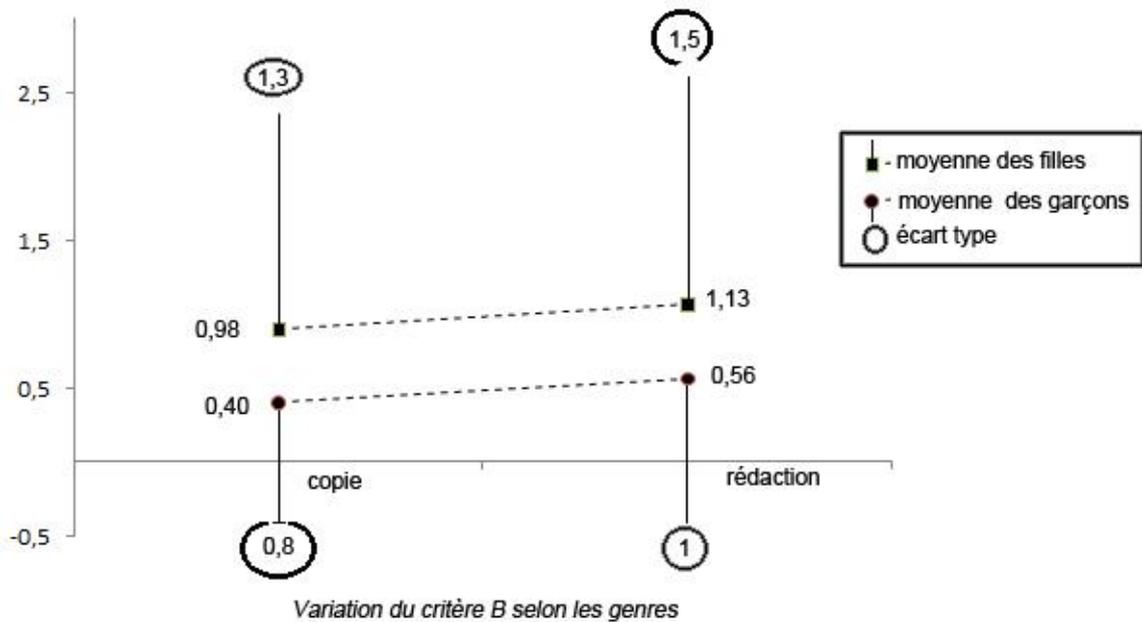
Robertson, S.D. (2001). Development of bimanual skill: The search for stable patterns of coordination. *Journal of Motor Behavior*, 2001, Vol. 33, n° 2, p. 114-126.

Soto Arès, G., Caron, S. & Jissendi, P. (2007). Malformations du cerveau et du cervelet. *EMC*. 31-622-A-10.

Tallet, J. (2008). Rôle de l'inhibition dans la mémorisation de coordinations motrices complexes. *Evolutions Psychomotrices*, Vol. 20, n° 81- 2008.

Vestichel, P. & Degos, JD. (2000). Syndromes de déconnexion inter-hémisphérique. *Encyclopédie Médico Chirurgicale*, Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS, Paris, Neurologie 17-036-C-10, 2000, 16 p.

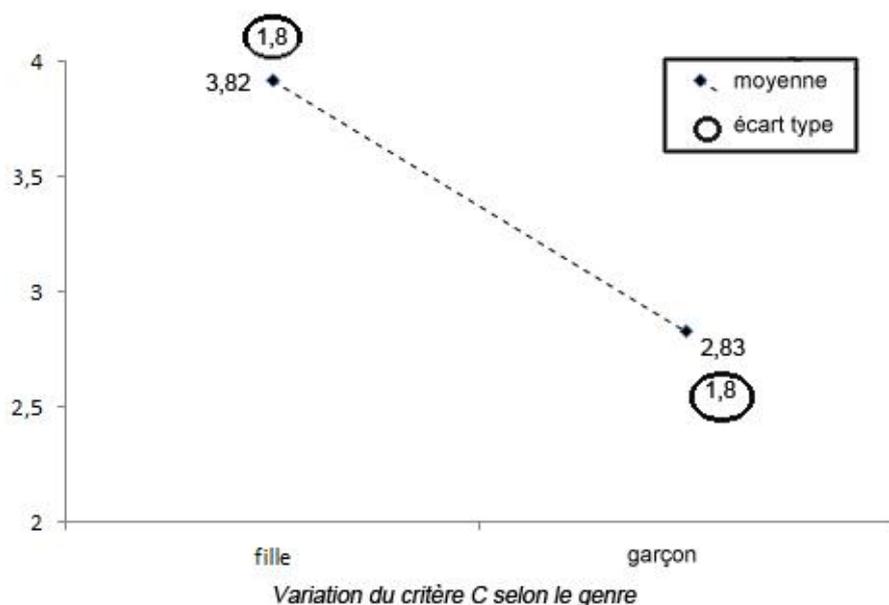
Vincent, M. (2012). « *Exemple de prise en charge de la motricité globale basée sur l'entraînement d'étapes du développement moteur* ». Mémoire en vue de l'obtention du D.E. de psychomotricien. Université Paul Sabatier Toulouse III.



3.3.3. Critère C : télescopage

La variable dépendante du score au critère C ne nous montre pas d'effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324) = 0,0552 ; NS$, ni du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324) = 0,657 ; NS$, ni du facteur classe $F(2 ; 324) = 1,052 ; NS$.

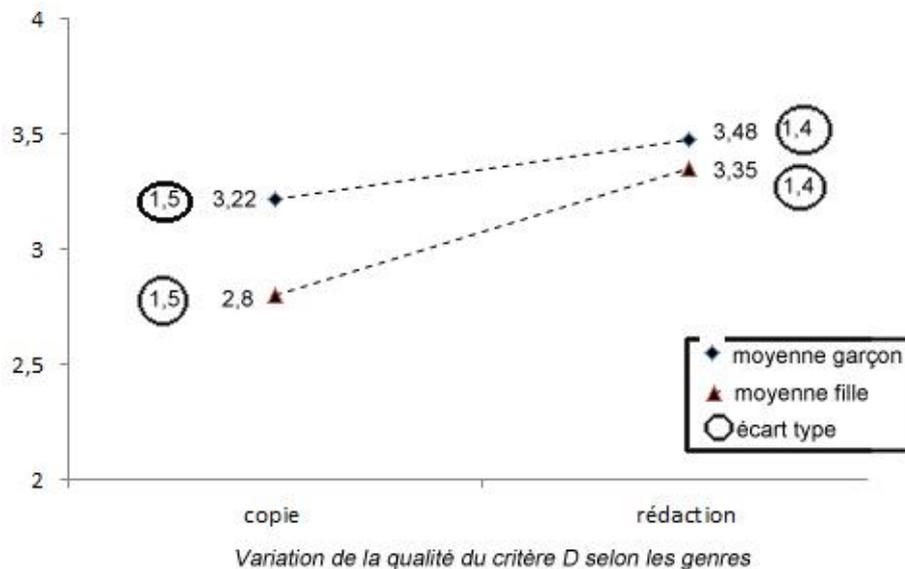
Cependant, on retrouve un effet du facteur sexe $F(1 ; 324) = 39,465 ; P < 0,0001$.



3.3.4. Critère D : lettre ambiguë

la variable dépendante du score au critère D, nous montre un effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324)=30,85$; $p<0.0001$, du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324)=21,12$; $p<0.001$; du facteur sexe $F(1 ; 324)=15,86$; $p<0.001$. il n'existe pas d'effet de la classe $F(2 ; 324)=1,401$; NS.

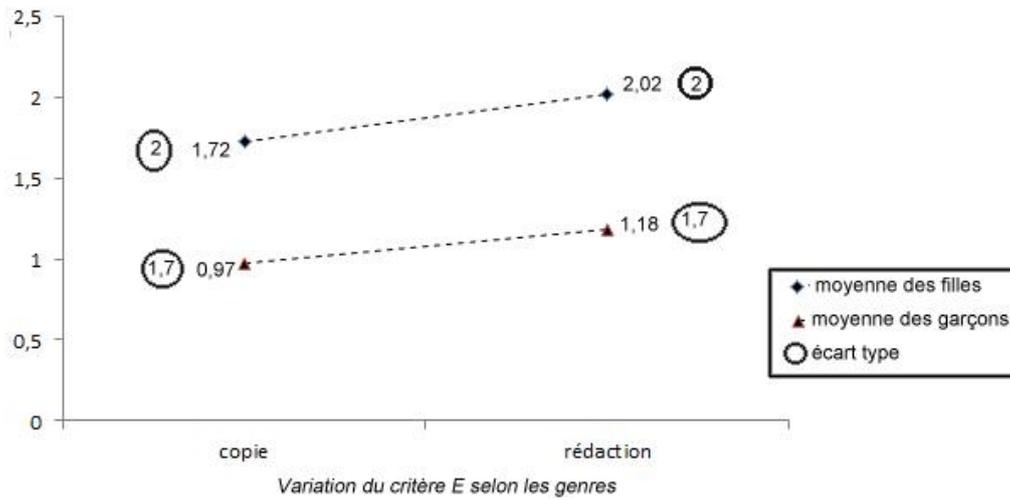
On observe également, une interaction du facteur sexe et classe sur cette variable dépendante $F(2 ; 324)=6,35$ $p<0.002$.



3.3.5. Critère E : lettre majuscule à l'intérieur d'un mot

La variable dépendante du score au critère E, montre un effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324)=10,30$; $p<0.001$, du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324)=41,70$; $p<0.0001$, et du facteur sexe $F(1,324)=4,95$; $p<0,027$. Elle ne montre pas d'effet du facteur classe $F(2 ; 324)=1,54$; NS.

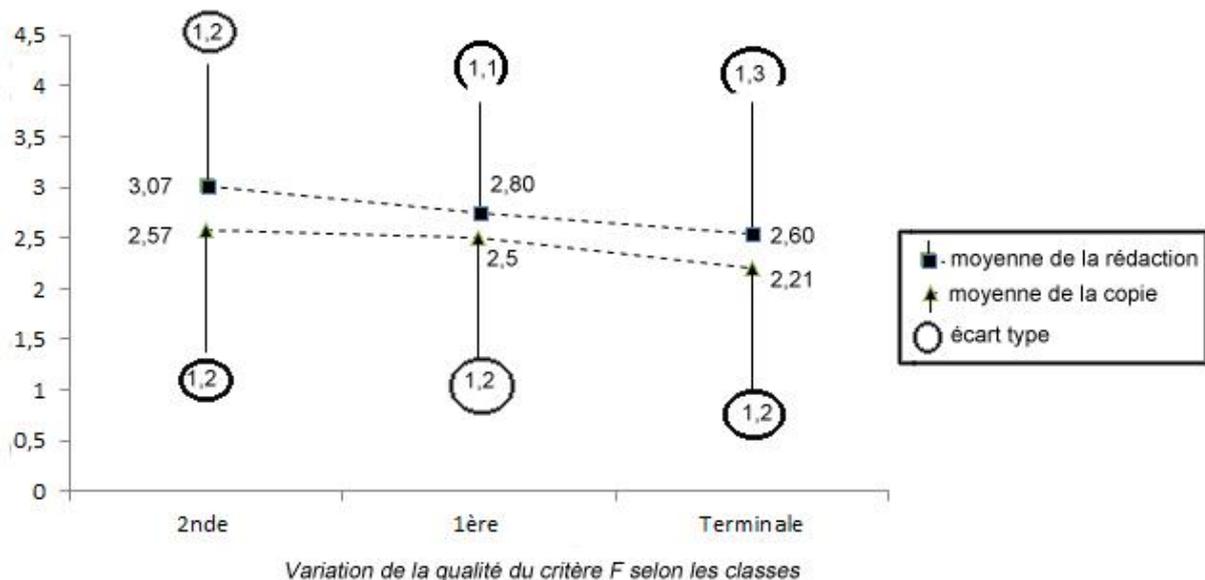
On peut, aussi, noter l'interaction des facteurs type d'écriture et catégorie du lycée $F(1 ; 324)=5,57$; $p<0.019$ et l'interaction des facteurs sexe et classe $F(2 ; 324)=4,60$; $p<0,011$.



3.3.6. Critère F : parallélisme des lignes

La variable dépendante du score au critère F montre un effet significatif du facteur type d'écriture $F(1 ; 324)=15$; $p<0.0001$ et du facteur classe $F(2 ; 324)=3,96$; $p<0.020$. Il n'existe pas d'effet du facteur catégorie du lycée $F(1 ; 324)=0,27$; NS, ni du facteur sexe $F(1 ; 324)=2,82$; NS.

On peut également noter une interaction des facteur catégorie du lycée et classe $F(2 ; 324)=4,97$; $p<0.007$.



IV. Discussion

Nous allons proposer une interprétation de l'ensemble des données que nous avons pu obtenir sur la comparaison entre une tâche de copie et de production libre.

4.1. La vitesse

L'analyse de variance, nous a permis de mettre en évidence que la vitesse de transcription s'arrête à partir du lycée. En effet, le facteur classe n'intervient plus à partir de la classe de seconde. Il n'y a donc pas de différence entre les secondes, les premières et les terminales. Au collège, la vitesse augmente progressivement au fur et à mesure des niveaux scolaires. En 3^{ème} la vitesse moyenne est de 340 caractères (écart type 74) et en seconde, elle est de 362 caractères (écart type 79). La vitesse atteint donc un pallier à partir de la 3^{ème}.

Il serait donc intéressant d'étudier la vitesse de transcription chez les étudiants en étude supérieure ou chez les adultes en général. En effet, cette analyse pourrait rendre compte de l'évolution ou de la stagnation de la vitesse d'écriture après le lycée.

4.2. La comparaison des tâches de copie et de rédaction.

D'après l'analyse de variance, nous pouvons considérer l'existence d'une différence significative d'écriture entre les deux tâches proposées. Au niveau de la vitesse, on observe un ralentissement de la transcription dans la tâche de production libre. La différence moyenne de vitesse est supérieure à 73,5 caractères entre les deux tâches.

Au niveau de la qualité, l'écriture se dégrade significativement entre une tâche de copie et une tâche de rédaction. Une différence moyenne de 2 points est observable entre les deux épreuves.

Cette dégradation est à mettre en relation avec la théorie capacitaire exposée dans la partie théorique (cf.2.2.4.). Le fait de devoir coordonner les processus cognitifs de haut niveau (thème, planifier l'enchaînement des idées,..) et les processus de bas niveau (orthographe, graphomotricité,..) implique une surcharge cognitive. Cette dernière se traduit par un ralentissement général de la vitesse de transcription et une dégradation de la qualité.

4.3. Le facteur catégorie du lycée

Dans l'ensemble, les élèves des lycées professionnels ont une vitesse moindre que les élèves des lycées généraux. Dans l'épreuve du BHK, on note une différence moyenne de 72 caractères et dans la production spontanée on retrouve une différence moyenne de 75 caractères en faveur des élèves des lycées généraux.

Au niveau de la qualité, on retrouve cette dissociation lycée général/ lycée professionnel. Au niveau de la copie on note une différence de 1,81 point sur les moyennes des copies pour toutes classes confondues. Pour la rédaction, la différence est de 1,89 point.

Cette différence est abordée dans un autre mémoire présenté cette année 2013, c'est pourquoi nous ne détaillerons pas plus ce sujet.

4.4. La qualité

Les résultats des analyses statistiques montrent une interférence notoire du facteur classe dans la qualité des écritures. Ainsi, pour chacune des deux tâches on retrouve un score qualité plus élevé pour les classes de secondes (lycée général et professionnel). Leur écriture est donc plus dégradée que les classes supérieures. De même, pour les classes de premières dont l'écriture est de moins bonne qualité que celle des classes de terminales. Cette différence s'observe sur les deux épreuves copie et rédaction.

Un consensus veut que la qualité des adultes se dégrade par rapport à celle des enfants pour favoriser l'accès à la vitesse de transcription. Au collège, l'augmentation de la vitesse de transcription a pour conséquence une dégradation de la qualité d'écriture. Au lycée, en revanche, la qualité s'améliore. Nous avons vu, précédemment, qu'à ce niveau la vitesse de transcription stagnait. Ce phénomène pourrait expliquer le déplacement des ressources allouées à la vitesse vers la recherche de qualité.

Cette hypothèse peut également se vérifier par le fait que la qualité est davantage dégradée dans une tâche de rédaction libre. Lors de la copie de texte, qui demande moins de ressources cognitives, les élèves peuvent allouer plus d'attention sur la qualité.

En parallèle, nous pouvons subjectivement constater une amélioration des compétences rédactionnelles entre la classe de seconde et de première. Ce pallier se discerne par rapport au thème, aux enchainements des idées.

4.5. La différenciation sexuelle

Sur l'ensemble des deux épreuves, les résultats montrent que les filles écrivent à un rythme plus soutenu que les garçons (la différence moyenne étant de 26 caractères). Sur l'épreuve de copie, la dissociation fille-garçons des lycées généraux est moins significative (différence en moyenne de 4 caractères) que celle des lycées professionnels dont la différence moyenne est supérieure à 25 caractères. De même, pour l'épreuve de la rédaction libre, la différence entre les genres des lycées généraux s'agrandit avec un écart moyen de 32 caractères. En revanche dans les lycées professionnels, la différence moyenne est supérieure à 42 caractères.

En ce qui concerne la qualité, les filles ont une écriture globalement plus dégradée que les garçons. Cependant, leur vitesse est supérieure. On peut donc penser qu'elles ont atteint un certain niveau de maturité qui leur permet de dégrader leur qualité pour augmenter davantage leur vitesse. Les garçons ne semblent pas avoir acquis ce niveau car ils gagnent en qualité mais perdent en rythme de transcription.

Durant l'enfance (BHK CP-CM2, 2003), une différenciation sexuelle est visible avec une supériorité des filles au niveau de la vitesse et de la qualité des textes. Cette distinction peut s'expliquer par le fait que les filles sont meilleures en motricité manuelles et ont de meilleures capacités linguistiques que les garçons. Au collège cette différence tend à diminuer, car il semblerait que les garçons rattrapent leur retard par rapport aux filles. De plus, à ce stade, l'objectif commun est l'amélioration de la vitesse de transcription.

Conclusion partie théorique

Grâce à la mise en place du protocole d'écriture dans différents lycées, nous avons approché une population peu étudiée. Il s'avère, grâce à notre échantillon type, qu'un pallier soit mis en évidence quant à la vitesse et à la qualité d'écriture tant sur une tâche de copie que de rédaction.

Conclusion

Dans une première partie, nous avons évoqué les aspects théoriques de l'écriture et le coût attentionnel que celle-ci sollicite lors de ces différentes modalités. Ainsi, la copie est considérée comme l'épreuve la moins coûteuse pour l'individu alors que la rédaction libre est l'épreuve qui demande le plus de ressources attentionnelles.

Dans une seconde partie pratique, nous avons utilisé ces données initiales pour réaliser une étude comparative sur une population lycéenne. Deux types de tâches ont été analysés : la copie de texte et la rédaction spontanée. Nous avons donc pu aboutir à plusieurs conclusions intéressantes

Tout d'abord, on constate une stagnation de la vitesse de transcription. Celle-ci ne s'améliore plus à partir de la 3^{ème}. L'objectif au lycée n'étant pas la recherche de progression de la vitesse d'écriture en comparaison avec les collégiens.

Ensuite, nous voyons qu'il existe une dégradation générale des résultats sur l'épreuve de rédaction de texte. Il est certain que pour s'adapter à l'effort cognitif de ce type de tâche, les élèves dégradent leur qualité et leur vitesse. Cette donnée est à mettre, comme nous l'avons vu, en relation avec la théorie capacitaire de McCutchen (1994).

Il s'avère, également, que la qualité s'améliore en fonction du niveau scolaire. Les secondes ont donc une qualité plus dégradée que les premières et terminales. On peut donc penser qu'au fur et à mesure de l'avancée dans les classes, les ressources cognitives sont plus allouées à l'amélioration de la qualité graphomotrice.

Enfin, nous avons pu observer que les filles utilisaient une stratégie plus mature que les garçons en dégradant leur qualité pour améliorer leur vitesse d'écriture. A ce stade, les garçons semblent avoir tendance à privilégier la qualité graphique et ne peuvent donc pas récupérer le retard de vitesse établi avec les filles.

Dans ces conditions, la pertinence d'utiliser une double épreuve copie-rédaction pour comparer l'écriture d'un élève peut être discutée. D'après les apports

de la littérature et cette étude, il est évident qu'une épreuve de production libre est, dans l'ensemble, plus dégradée qu'une épreuve de copie.

Cette affirmation ouvre la voie à de nouvelles modalités d'évaluation de l'écriture. En effet, l'introduction d'une épreuve de rédaction spontanée pourrait mettre en exergue des difficultés spécifiques dans ces situations. En effet, on pourrait certainement trouver des élèves dont l'écriture est dégradée sur l'ensemble des épreuves. De même qu'on pourrait mettre en évidence des élèves qui ont des difficultés particulières sur des tâches de production libre.

La prise en charge serait alors différente et un travail spécifique serait alors à envisager. Dans un premier temps, comme la finalité de la tâche est motrice, il faut donc travailler les habiletés graphomotrices pour améliorer la qualité des textes. Dans un second temps, la prise en charge devrait se concentrer sur les aspects plus cognitifs tels que les capacités attentionnelles (attention divisée, épreuve de double tâche,...) et sur la mémoire de travail (amélioration de l'empan mnésique). Ces conclusions sont les prémices d'une expérimentation plus poussée sur l'étude de l'écriture du lycéen, en général, et sur la prise en compte des données dans l'évaluation et la prise en charge des difficultés graphomotrices. Il est donc, nécessaire de continuer le travail pour démontrer la pertinence du projet.

Bibliographie

- BADDELEY, A., & GATHERCOLE, S. E. (1993). *Working memory and language*. Hillsdales: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- BANG, V. (1959). *Evolution de l'écriture de l'enfant à l'adulte*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé .
- BERNINGER, V. W. (2012). *Past, Present, and Future contributions of Cognitive Writing Research to Cognitive Psychology*. New York: Psychology Press.
- BOURDIN, B., COGIS, D., & FOULIN, J.-N. (2010, mars). Influence des traitements graphomoteurs et orthographiques sur la production de textes écrits: perspective pluridisciplinaire. *Langages*, pp. 57-82.
- CHANQUOY, L., & ALARMARGOT, D. (2003, décembre). Mise en place et développement des traitements rédactionnels: le rôle de la mémoire de travail. *Le Langage et l'Homme*, pp. 171-190.
- CHARLES M., SOPPELSA R., ALBARET J.-M. (2003), *BHK: Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*, Paris : ECPA.
- FAVART, M., & OLIVE, T. (2005, mai). Modèles et méthodes d'étude de la production écrite. *Psychologie Française*, pp. 273-285.
- GAONACH'H, D., & LARIGAUDERIE, P. (2010). *Mémoire et fonctionnement cognitif*. Paris: Armand Colin.
- J-Y ROUSSEY, A. P. (2003). Prendre des notes et apprendre. effet du mode d'accès à l'information et de la méthode de prise de note. *Arobase*, pp. 47-68.
- KELLOG, D. T. (1994). *The psychology of writing*. New York: Oxford University Press.
- M. CHUY, & RONDELLI, F. (2010, mars). Traitement des contraintes linguistiques et cognitives dans la construction de la cohérence textuelle. *Langages*, pp. 57-82.
- M. PEREZ, H. GIRAUDO, & A. TRICOT. (2012, septembre). Les processus cognitifs impliqués dans l'acquisition de l'orthographe: dictée vs copie. *A.N.A.E*, pp. 280-286.
- PEVERLY, S. T. (2006). The importance of handwriting speed in adult writing. *developmental neuropsychology*, pp. 1997-213.

PIOLAT, A. (2004). Approche cognitive de l'activité rédactionnelle et son acquisition. Le rôle de la mémoire de travail. *théories de l'écriture et pratiques scolaires*, pp. 54-71.

S.PLANE, ALARMARGOT, D., & LEBRAVE, J.-L. (2010, mars). Temporalité de l'écriture et rôle du texte produit dans l'activité rédactionnelle. *Langages*, pp. 7-28..

T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2003). Activation des processus rédactionnels et qualités des textes. *Le Langage et L'Homme*, 191-204.

T.OLIVE, & PIOLAT, A. (2005, mai). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française*, pp. 373-390.

T.OLIVE, LEBRVE, J.-L., PASSERAULT, J.-M., & BIGOT, N. L. (2010, mars). La dimension visuo-spatiale de la production de textes: approches de psychologie cognitive et critique génétique. *Langages*, pp. 29-55.

ZESIGER, P. (1995). *Ecrire: approche cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris: Presse Universitaire de France .

Thèse :

BATT, M.-A. (2012, mai). les effets de l'engagement par le brouillon sur des scripteurs au collège. Bordeaux, France: école doctorale: société, politique, santé publique.

Mémoire :

B.BRAECKMAN ; P. VOUTSINOS-SVILARICH, proposition d'une nouvelle cotation pour l'échelle rapide d'évaluation de l'écriture chez le collégien. Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme d'état de psychomotricité (mai 2009)

Résumé

L'écriture chez le lycéen est, à ce jour, très peu étudiée. Durant sa scolarité, il est confronté à différentes modalités d'écriture (dictée, copie, rédaction de texte). Dans une première partie, nous voyons que chaque tâche a un coût attentionnel différent. Ainsi, une tâche complexe d'écriture telle que la rédaction de texte peut provoquer une surcharge cognitive chez certains sujets ayant des ressources cognitives limitées.

Pour mieux comprendre les compétences du lycéen, nous avons, ensuite, réalisé une étude comparative entre une épreuve de copie et une épreuve de production libre. Cette étude nous a donc permis de mettre en évidence des données intéressantes quant à l'évolution de l'écriture chez le lycéen et d'une possible modification de l'évaluation de cette habileté.

Mots clefs : écriture ; lycéen, surcharge cognitive, étude comparative, copie de texte, rédaction libre,

Abstract

The high school student's handwriting skills aren't often studied by specialists. A pupil is fronted several handwriting tasks (dictation, copy and text composition) through his school life. So, we can see at first that each of these tasks needs a different level of attentional demand. Thus, a complex handwriting task, as writing text, can induce cognitive overload for limited cognitive capacity students.

In order to apprehend high school student skills, we have conducted a comparative study between a copy task and text composition. We have gathered some interesting facts about evolution of writing at the high school

Keywords: writing, high school, cognitive overload, comparative study, copy task, text composition.