



HAL
open science

Acalculie dans la maladie d'Alzheimer : troubles de la numérosité et du transcodage

Sarah Bougrine, Anaïs Angles

► **To cite this version:**

Sarah Bougrine, Anaïs Angles. Acalculie dans la maladie d'Alzheimer : troubles de la numérosité et du transcodage. Sciences cognitives. 2013. dumas-00868668

HAL Id: dumas-00868668

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00868668>

Submitted on 30 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ACADEMIE DE PARIS
UNIVERSITE PARIS IV PIERRE et MARIE CURIE
MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU CERTIFICAT DE CAPACITE
D'ORTHOPHONISTE

**ACALCULIE DANS LA MALADIE D'ALZHEIMER : Troubles de
la numérosité et du transcodage**

Directeur de mémoire : Dr PASCAL AUZOU

Année universitaire : 2012-2013

Sarah BOUGRINE

Née le 18 novembre 1989

Anais ANGLES

Née le 30 mars 1988

Engagement de non plagiat

Je soussignée Angles Anaïs, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.



Je soussignée Bougrine Sarah, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les gens qui ont œuvré, chacun de leur façon, à la naissance de ce mémoire :

- ❖ À tous les patients qui ont accepté volontiers de participer au protocole, qui se sont montrés très coopérants. Sans eux, nous n'aurions pu mener à bien notre expérience,*
- ❖ À tous les sujets témoins qui se sont gentiment prêtés à notre test,*
- ❖ Au Dr Auzou, instigateur de ce mémoire, qui nous a guidées toute l'année dans nos travaux de recherches et qui a su nous motiver.*
- ❖ À Charlotte pour ses conseils avisés et son soutien.*
- ❖ Aux orthophonistes qui nous ont aidées à réunir les patients susceptibles de répondre au profil recherché. Nous avons apprécié leurs conseils avisés et leur volonté de nous aider dans nos démarches*

Sarah et Anaïs.

- ❖ Un grand merci également à tous mes proches, amis et parents qui ont également contribué à rendre ce mémoire passionnant par les échanges que nous avons pu avoir ensemble,*
- ❖ Merci à Delphine Vigouroux, Martine Etard, Florence Lebon et Aurore Lacaze de m'avoir ouvert leurs portes et confier leurs patients,*
- ❖ Merci à Sarah, ma binôme de m'avoir épaulée dans les moments de doute et d'avoir apporté sa bonne humeur,*
- ❖ Merci à Fabien pour son soutien sans failles et son aide pour la mise en page.*

Anaïs

- ❖ A mes parents et mes frères, pour leur patience devant mon sale caractère, dans mes moments de grand stress. Mon amour pour vous est incommensurable, tous les mots ne pourront le décrire.*
- ❖ A toute l'équipe de Chegar la charmante: à Mado de Bordeaux, à Amandine pour notre relation mère/fille, et à Alix, parce que Tsiiiiiii.*
- ❖ A Josette Couillet, la maîtresse de stage number one de tous les maîtres de stage, merci pour le savoir transmis, ta gentillesse et la relecture du présent mémoire .*

- ❖ *A Anaïs et ses coups de fil rassurants et sa fiabilité. Quand on pense à tout ce qu'on a prévu de faire une fois tout ça terminé ! Sans oublier Fabien et sa super mise en page !*
- ❖ *A Camille, Mélanie, Léo, Cécile, Marie et Karine, pour tous ces moments partagés, à Nicolas, pour son pragmatisme et sa patience.*
- ❖ *A Rineka Rigal et à toute l'équipe de Supsanté, un sincère remerciement, pour toutes les rencontres que vous m'avez permis de faire, le goût de l'enseignement que vous m'avez transmis, mais surtout, merci pour votre amitié et le soutien apporté au cours de ces cinq dernières années.*
- ❖ *Enfin à ma grand-mère. J'aurais voulu que tu sois là pour assister à ce grand jour, j'aurais voulu que tu m'attendes, que tu sois fière de moi, je terminerai donc ces quelques lignes et le plus gros travail de ma vie en pensant à ce que tu m'aurais dit.*

A celle que j'ai tant Aimée.

Sarah

Table des matières

Engagement de non plagiat	II
Remerciements	III
Table des matières	V
Table des figures	IX
Table des graphiques.....	XI
Table des tableaux	XIII
Liste des abréviations.....	XIV
Introduction Générale	1
Chapitre 1 : La maladie d’Alzheimer (<i>rédigé par Sarah</i>).....	4
I. Une maladie neuro-dégénérative.....	4
1. Définition et classification des démences	4
II. Epidémiologie.....	6
III. Diagnostic et évolution.....	6
IV. La sémiologie.....	9
1. La mémoire épisodique.....	9
2. La mémoire sémantique.....	10
3. La mémoire de travail.....	10
4. La mémoire procédurale	11
5. Les troubles du langage	11
6. Les troubles des fonctions exécutives.....	12
7. Les troubles praxiques et gnosiques	12
8. Les troubles du comportement	12
9. Les troubles associés.....	12
V. La stimulation cognitive	13
Chapitre 2 : Le transcodage et les activités numériques vus par les différents modèles (<i>rédigé par Sarah</i>)	14
I. Présentation des caractéristiques des systèmes de notation.....	14

1. Le système de notation verbal	14
2. Le système de notation arabe	15
II. Les différents modèles.....	15
1. Le modèle modulaire de McCloskey (McCloskey, Caramazza et Basili, 1985)	15
1.1. Conception du modèle : postulat de modularité.....	15
1.2. Dissociations de performances.....	17
2. Modèle du transcodage asémantique des nombres de Deloche et Seron (1987)	18
2.1. La modélisation du processus de transcodage	19
3. Le modèle du triple code de Dehaene (1992)	20
3.1. Description	20
3.2. Les représentations du nombre vues au travers des aspects anatomo-fonctionnels: (Dehaene & Cohen, 2000).....	21
4. Le modèle ADAPT de Barrouillet et col. (2004)	24
4.1. Présentation du modèle.....	24
4.2. L'hypothèse principale d'ADAPT.....	25
 Chapitre 3 : La numérosité (rédigé par Anaïs)	28
I. La perception de la numérosité	28
1. Abstraction de la numérosité.....	28
2. 3 systèmes de quantification	29
2.1. Le subitizing.....	29
2.2. Le dénombrement.....	30
2.3. L'estimation	31
3. Le développement de la numérosité : une intuition partagée.....	32
3.1. Les compétences proto-numériques chez le bébé	32
3.2. Les animaux, des espèces savantes ?.....	33
4. Les substrats de la numérosité.....	34
4.1. Les neurones des nombres	34
4.2. Le « sens des nombres » et la spécificité du sillon intra-pariétal (lobe pariétal) ...	36
5. Les interactions entre nombre, temps et espace	37
5.1. Ligne numérique et temps	37
5.1.1. Un continuum mental	37
5.2. Effets de taille et de distance numérique.....	39
5.2.1. Définitions.....	39
5.2.2. Les effets comportementaux classiques	39
5.3. Le nombre et l'espace, l'espace des nombres	40
5.3.1. L'intuition d'une échelle spatiale des nombres : la synesthésie numérique	41
5.3.1.1. L'effet SNARC	41
5.3.1.2. Caractéristiques de l'effet SNARC	41
5.3.1.3. Résultats expérimentaux sur l'effet SNARC	42

5.3.1.4. Les soubassements du lien entre espace et nombre.....	42
--	----

Chapitre 4 : Les troubles du calcul dans la maladie d’Alzheimer (<i>rédigé par Anaïs</i>)	44
---	----

I. Le calcul au carrefour de plusieurs fonctions cognitives44

1. La mémoire	44
2. Le langage	44
3. Les fonctions exécutives	45

II. Calcul et maladie d’Alzheimer46

1. La place des troubles du calcul au sein de la maladie d’Alzheimer	46
2. Numérosité et maladie d’Alzheimer	48
3. Maladie d’Alzheimer et l’activité de transcodage numérique	50
3.1. Les erreurs relevées	50
3.2. Les différentes erreurs dans les tâches de transcodage.....	51
3.2.1. Les erreurs de type « aphasique »	51
3.2.2. Les erreurs de transcodage avec stimuli sur entrée verbale ou écrite.....	51
3.2.3. Autres types d’erreurs	52
3.3. La relation avec la sévérité	52

Problématique et hypothèses de travail (*partie commune*) 55

Méthodologie 57

I. Description de la population.....57

1. Présentation de la population Alzheimer	57
1.1. Critères de sélection propres aux patients.....	57
1.2. Caractéristiques démographiques	57
2. Présentation de la population témoin.....	59
2.1. Critères de sélection	59
2.2. Caractéristiques démographiques	59

II. La méthode59

1. Procédure de recrutement	59
2. Conditions et procédure de passation	59
3. Le matériel d’investigation	60
4. Organisation du recueil de données.....	63

Analyse des Résultats 65

1. Différence patients témoins.....	66
1.1. En transcodage	66
1.2. En numérosité	68
2. Profil des perturbations	70

2.1. <i>En Transcodage</i>	70
2.2. <i>En Numérosité</i>	73
3. Lien avec la sévérité	75
4. Relation entre les différents aspects du transcodage (corrélations).....	77
5. Interprétation des erreurs de transcodage	79
Discussion générale	86
1. Rappel de l'objectif	86
2. Réponses aux hypothèses.....	86
Limites et problèmes rencontrés	96
I. Contraintes inhérentes à notre population	96
II. Contraintes inhérentes au protocole d'évaluation.....	97
Conclusion et perspectives	99
Bibliographie	101
Liste des annexes : sommaire.....	116

Table des figures

Figure 1 : Répartition des démences en fonction de la localisation anatomo-fonctionnelle

Figure 2 : Prévalence de la démence

Figure 3 : Carte de densité des lésions neurofibrillaires de la maladie d'Alzheimer en fonction de la topographie (d'après Duyckaerts et Dickson, 2003)

Figure 4 : Anomalies structurales détectées par l'IRM (en haut) et fonctionnelles détectées en TEP (en bas) dans la maladie d'Alzheimer

Figure 5 : Modèle de traitement des nombres et du calcul de Mc Closkey (Seron et Deloche, 1999)

Figure 6 : Le modèle asémantique du transcodage (D'après Pesenti & Seron, 2000)

Figure 7 : Le complexe d'encodage d'après Campbell et Clark, 1988 ; Clark et Campbell, 1991

Figure 8 : Codes numériques et traitements arithmétiques (Dehaene, 1992)

Figure 9 : Représentations cognitives et neuro-anatomiques du modèle du triple code et leurs corrélats neuronaux

Figure 10 : Les différentes structures cognitives entrant en jeu dans le modèle ADAPT

Figure 11 : Latences des réponses et taux d'erreurs dans une tâche de quantification d'objets en fonction du nombre d'objets présentés

Figure 12 : Représentation schématique de la ligne numérique mentale avec compression logarithmique (D'après Nieder & Miller, 2003)

Figure 13 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre arabe, vers un nombre verbal, oral ou écrit

Figure 14 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre verbal (oral ou écrit), vers un nombre arabe

Figure 15 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre verbal écrit vers le code verbal oral

Table des graphiques

Graphique 1 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de transcodage, représentés sous la forme de radar

Graphique 2 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de transcodage, représentés sous la forme de radar

Graphique 3 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de numérosité, représentés sous la forme de radar

Graphique 4 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de numérosité, représentés sous la forme de radar

Graphique 5 : Corrélation des épreuves avec le MMS

Graphique 6 : Synthèse des corrélations observées entre les différentes formes de transcodage.

Graphique 7 : Répartition des erreurs en fonction de leur fréquence

Graphique 8 : Analyse de tous les types d'erreurs, toutes modalités confondues

Graphique 9 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale écrite vers la modalité verbale orale

Graphique 10 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale orale vers la modalité arabe

Graphique 11 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale orale vers la modalité arabe

Graphique 12 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale orale vers la modalité verbale écrite

Graphique 13 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité arabe vers la modalité verbale écrite

Graphique 14 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale écrite vers la modalité arabe

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeur des moyennes et des écarts types en transcodage pour les patients et les témoins

Tableau 2 : Valeur des temps et des écarts types en transcodage pour les patients et les témoins

Tableau 3 : Valeur des moyennes et des écarts types en numérosité pour les patients et les témoins

Tableau 4 : Valeur des temps et des écarts types en numérosité pour les patients et les témoins

Tableau 5 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de transcodage

Tableau 6 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de transcodage

Tableau 7 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de numérosité

Tableau 8 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de numérosité

Tableau 9 : Corrélations entre le MMS et chaque épreuve de transcodage

Tableau 10 : Corrélations entre le MMS et les temps de réalisation pour chaque épreuve de transcodage

Tableau 11 : Corrélations inter-épreuves en transcodage

Tableau 12 : recensement et classement de toutes les épreuves rencontrées

Liste des abréviations

- **ADAPT** : **A** Developmental, **A**semantic, and **P**rocedural **T**ranscoding model.
- **BENQ-R** : Batterie d’Evaluation des Nombres au Quotidien Révision
- **DTA** : Démences de Type Alzheimer.
- **ECAN** : Evaluation Clinique des Aptitudes Numériques.
- **GRFEX** : Groupe de Réflexion sur l’Evaluation des Fonctions Exécutives
- **HAS** : Haute Autorité de Santé
- **hIPS** : Horizontal segment of the Intraparietal Sulcus.
- **IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique
- **MA** : Maladie d’Alzheimer
- **MMSE** : Mini Mental State Examination.
- **MODA** : The Milan Overall Dementia Assessment
- **SIP** : Sillon Intra-Pariétal.
- **TDR** : Temps De Réaction.
- **TEP** : Tomographie par Emission de Position
- **VIP** : Ventral Intraparietal Sulcus.

Introduction Générale

Compter, lire l'heure, dénombrer une collection ou encore estimer une quantité : toutes ces activités du quotidien, que nous faisons naturellement, nous semblent innées, automatiques. Il paraît alors difficile d'imaginer une perte de ces « savoirs ».

Et pourtant, à la suite d'une lésion cérébrale ou bien d'une atteinte neuro-dégénérative, certaines personnes rapportent des difficultés voire une impossibilité à manier les chiffres, à réaliser des calculs.

Si cette plainte demeure en marge par rapport aux déficits langagiers, elle apparaît de plus en plus fréquente et constitue un réel handicap pour les personnes concernées.

Par conséquent, il apparaît nécessaire d'entreprendre un diagnostic approfondi, pour analyser et spécifier les troubles. Cette évaluation permettra ainsi de proposer aux patients, s'ils en expriment le besoin, une prise en charge adaptée à leurs besoins.

A ce jour, peu d'outils sont disponibles pour évaluer de façon exhaustive et précise les capacités numériques et arithmétiques.

C'est pourquoi, nous poursuivons le travail déjà initié de validation d'un nouvel outil d'évaluation clinique des aptitudes numériques (ECAN).

Beaucoup de recherches ont été menées dans le cadre des troubles du calcul chez les personnes cérébro-lésées, mais peu d'études se sont consacrées aux troubles du calcul chez les personnes atteinte de la maladie d'Alzheimer.

L'objectif de notre travail consiste à déterminer si les patients Alzheimers présentent des troubles du calcul, et d'apprécier la nature de ceux-ci.

Nous avons pris le parti de n'explorer que deux domaines : la numérosité et le transcodage, afin de cibler davantage les éventuels déficits dans ces domaines-là.

Dans une première partie, nous tâcherons de présenter le cadre théorique avec une revue de la littérature.

Dans une seconde partie, nous décrirons notre étude, avec la présentation de notre protocole d'évaluation, la population concernée et les résultats obtenus.

Enfin, pour conclure, nous discuterons ces résultats en essayant de les interpréter et en les confrontant aux éléments relatés dans la littérature.

Les limites de ce travail et les perspectives envisagées, viendront clore notre réflexion.

Partie théorique

Chapitre 1 : La maladie d'Alzheimer

I. Une maladie neuro-dégénérative

1. Définition et classification des démences

Les critères du DSM IV définissent **la démence** comme étant **une diminution irréversible des facultés intellectuelles**, regroupant des déficits cognitifs variés incluant nécessairement un **trouble de la mémoire** ainsi que des **déficits pouvant toucher le langage, les praxies ou gnosies ainsi que les fonctions exécutives**, en l'absence de confusion mentale, de dépression, et de troubles psychiatriques. La démence est une régression cognitive par rapport au fonctionnement antérieur. Elle est de début progressif et son déclin est continu, ce qui cause une perturbation sociale et professionnelle significative. On ne peut parler de démence, en cas d'atteinte du système nerveux central, d'affection générale (médicamenteuse par exemple), de trouble sensoriel ou de syndrome confusionnel (DSM IV, American Psychiatric Association, 1994).

La classification des démences peut se faire d'un point de vue biologique (en fonction des substances chimiques mises en jeu), clinique (en fonction des troubles consécutifs), neuropathologique ou anatomique (en fonction des lésions cérébrales). C'est sur ce dernier point que nous nous baserons ici.

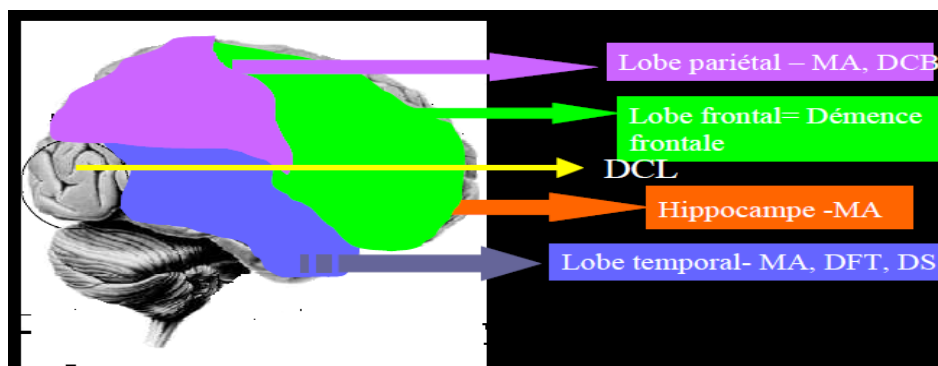


Figure 1 : répartition des démences en fonction de la localisation anatomo-fonctionnelle

La maladie d'Alzheimer est la forme de démence la plus fréquemment rencontrée (environ 70 % des cas de démence) (Amiéva & al., 2007). Sa prévalence et son incidence augmentent de façon exponentielle avec l'âge, **elle est un enjeu majeur de santé publique**. Elle représente l'une des principales étiologies des syndromes démentiels (60% des démences dégénératives, les

autres renvoyant aux démences mixtes, la démence à corps de Lewy diffus et la démence fronto-temporale).

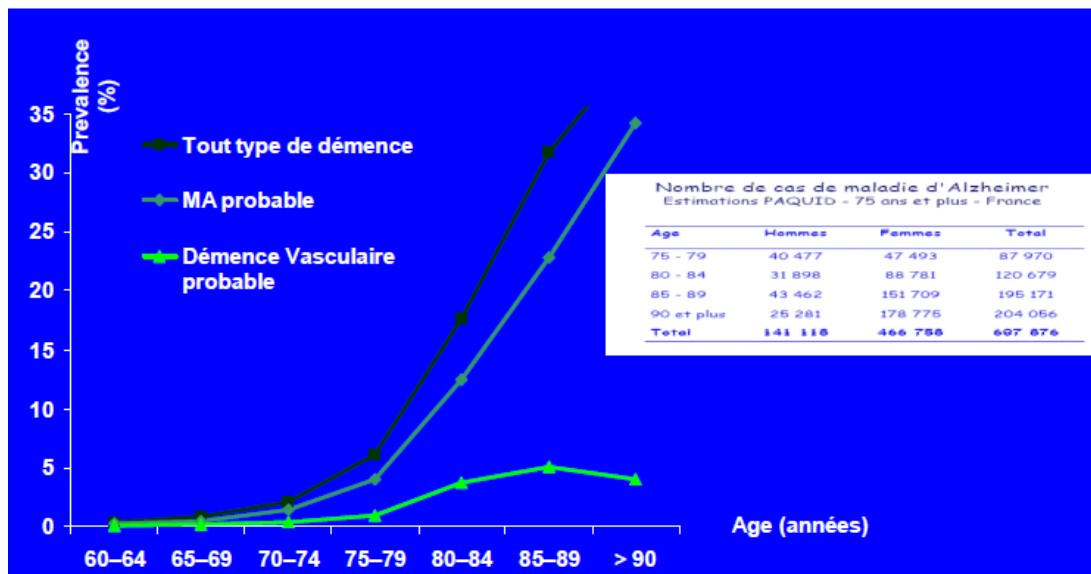


Figure 2 : prévalence de la démence

Pathologie neuro-dégénérative d'origine corticale, la maladie d'Alzheimer évolue irrémédiablement vers un syndrome démentiel. Ce dernier se caractérise par une réduction des capacités acquises, entraînant à terme une totale perte d'autonomie du sujet (Derouesne, 2007 ; Eustache, Agniel & al., 1993).

Jusqu'à présent, la maladie d'Alzheimer est définie cliniquement comme une démence dont le diagnostic se fonde sur la présence d'un déclin cognitif avec retentissement sur les activités de la vie quotidienne (DSM IV, American Psychiatric Association, 1994).

Ainsi, le diagnostic repose sur une démarche en deux étapes avec, dans un premier temps, la démonstration d'un syndrome démentiel puis, secondairement, la mise en évidence d'arguments en faveur d'une maladie d'Alzheimer (installation lente et insidieuse de troubles cognitifs) (Amiéva et al., 2007).

Ces critères ont une sensibilité globalement satisfaisante (80 % en moyenne sur l'ensemble des études) mais une spécificité moindre (de l'ordre de 70 %) pour le diagnostic de maladie d'Alzheimer probable, avec confirmation post mortem (Amiéva et al., 2007).

Ainsi, la Haute Autorité de Santé (HAS), recommande en particulier un avis spécialisé avec un bilan neuropsychologique et une imagerie cérébrale.

II. Epidémiologie

La maladie d'Alzheimer a été décrite il y a aujourd'hui cent ans. Avec l'allongement de la durée de vie, principalement dans les pays développés, **son incidence augmente de façon vertigineuse** (Derouesne, 2007). Les projections actuelles avoisinent un doublement du nombre de personnes atteintes par période de 20 ans (Amiéva et al., 2007). Cependant, la maladie d'Alzheimer demeure sous-diagnostiquée en France. Selon les données épidémiologiques disponibles, seule la moitié des patients est aujourd'hui identifiée. En 2006, elle concernait, en France, quelques 850 000 personnes et environ 165 000 nouveaux cas sont diagnostiqués chaque année (Derouesne, 2007 ; Dubois, 2013).

Il existe une minorité de cas de transmission familiale monogénique (environ 1 % des malades) qui surviennent de façon beaucoup plus précoce, parfois avant même l'âge de 40 ans. Dans la majorité des cas, la maladie d'Alzheimer apparaît comme une **pathologie multifactorielle** résultant de l'interaction de divers **facteurs environnementaux épigénétiques**, et de **facteurs génétiques** qui pourraient favoriser son apparition. Différentes études ont identifié des « facteurs de risque » et des « facteurs de protection » (Amouyel, 2013 ; Dartigues, 2013).

III. Diagnostic et évolution

Aujourd'hui, en France, le diagnostic de la maladie d'Alzheimer est porté tardivement et **la prise en charge des patients est hétérogène** (Derouesne, 2007 ; Dubois, 2013).

Les spécialistes insistent sur l'importance de l'évaluation des fonctions cognitives, avec une mesure globale des fonctions cognitives, une évaluation de la mémoire, des fonctions exécutives, et des fonctions instrumentales (langage, lecture, écriture, praxies...). Enfin, l'évaluation des activités fonctionnelles de la vie quotidienne est un élément fondamental du syndrome démentiel (Pérès et al., 2008). D'une façon générale, le diagnostic de maladie d'Alzheimer est rendu plus difficile aux deux extrémités de l'évolution de la maladie (Amiéva et al., 2007). Au début de la maladie, les symptômes sont discrets et peuvent être masqués et confondus avec des difficultés liées au vieillissement normal. À la fin de l'évolution, aux stades ultimes de la dégradation cognitive et comportementale, il est difficile de retrouver à l'examen des stigmates spécifiques d'une affection (Adam, 2000). Il faut souligner l'importance de l'interrogatoire de l'entourage sur le mode d'installation des troubles dans le diagnostic de maladie d'Alzheimer (Amiéva et al.,

2007, Juillerat ; Van Der Linden & al., 2000 ; Dartigues, 2013).

Le diagnostic certain de maladie d'Alzheimer repose sur l'observation de lésions cérébrales caractéristiques (généralement constatées à l'occasion d'un examen *post mortem*) : **les plaques séniles et les dégénérescences neurofibrillaires** (Lacomblez & Mahieux-Laurent, 2003 ; Bakchine & Habert, 2007). La pathologie neurofibrillaire est due à l'accumulation pathologique dans le neurone d'une protéine naturellement présente, la protéine Tau. Ces deux processus conjoints entraînent la perte de 60% des neurones de l'hippocampe contre 12% dans le vieillissement normal (Duyckaerts, 2013).

Ces altérations microscopiques sont associées à des modifications macroscopiques. Le poids et le volume du cerveau sont en moyenne diminués.

Des aires corticales qui jouent un rôle dans les fonctions mnésiques et sont situées à la face interne des hémisphères, le cortex entorhinal et l'hippocampe, sont les premières à perdre du volume (Duyckaerts, 2013), suivies par les régions du cortex, impliquées dans des fonctions telles que le langage, l'analyse complexe des influx visuels ou auditifs ou la programmation des mouvements volontaires. Sont également touchées, les aires associatives et les structures sous-corticales (Lacomblez & Mahieux-Laurent, 2003 ; Bakchine & Habert, 2007 ; Duyckaerts, 2013). La présence de ces lésions neuropathologiques est très bien corrélée au déficit cognitif (Amiéva, 2007).

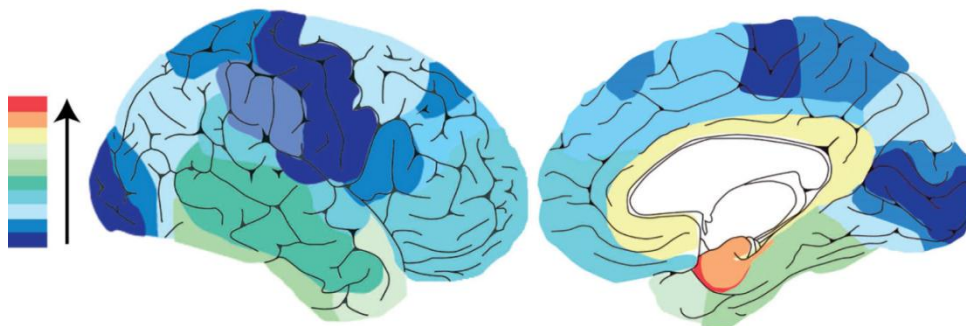


Figure 3 : Carte de densité des lésions neurofibrillaires de la maladie d'Alzheimer en fonction de la topographie (d'après Duyckaerts et Dickson, 2003)

Ainsi, de nombreux auteurs ont montré une **atrophie marquée de la région médiane du lobe temporal** en comparaison à des sujets âgés sains, même à un stade pré-démontiel de la maladie (Lacomblez & Mahieux-Laurent, 2003 ; Bakchine & Habert, 2007, Amiéva et al., 2007,

Duyckaerts, 2013.).

La maladie d'Alzheimer entraîne une **démyélinisation et une perte axonale** qui concernent la substance blanche qui connecte les cortex associatifs (corps calleux, substance blanche des lobes temporaux, frontaux et pariétaux) et la substance blanche du système limbique.

Les analyses en imagerie révèlent que la réduction du métabolisme du gyrus cingulaire postérieur constitue l'anomalie la plus précoce, À un stade plus avancé de la pathologie, la baisse du métabolisme s'étend au cortex temporo-pariétal et au cortex frontal, mais le métabolisme du cortex primaire moteur et sensoriel, des noyaux gris centraux et du cervelet demeure relativement préservé (Duyckaerts, 2013).

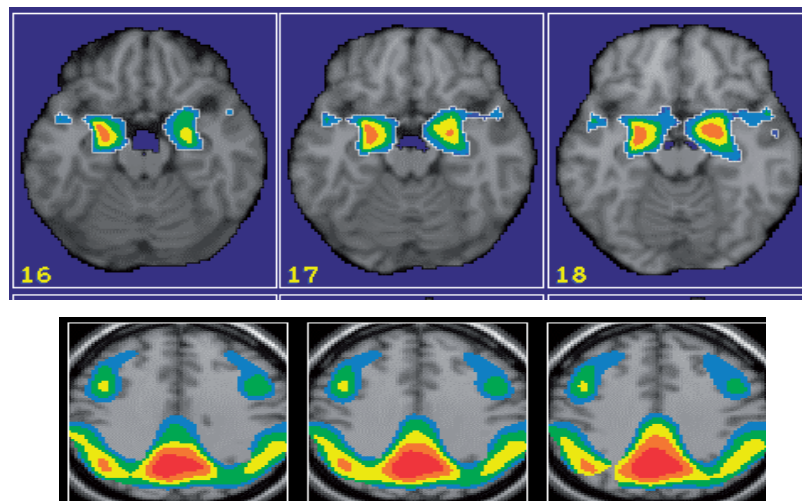


Figure 4 : Anomalies structurales détectées par l'IRM (en haut) et fonctionnelles détectées en TEP (en bas) dans la maladie d'Alzheimer : les zones colorées représentent les différences significatives entre le groupe des patients et le groupe des sujets témoins (données de l'Unité Inserm E 0218 de Caen)

La distribution des altérations cérébrales permet de rendre compte des troubles cognitifs, notamment de la mémoire épisodique dans la maladie d'Alzheimer. **Les études d'activation en TEP ou en IRM fonctionnelle réalisées dans le cadre de la maladie d'Alzheimer convergent vers une diminution des activations hippocampiques**, tant lors de l'encodage que lors de la récupération, et montrent souvent une augmentation des activations situées dans le cortex associatif, notamment frontal. La notion de mécanismes compensatoires, régulièrement avancée pour expliquer ce dernier résultat et cette hypothèse, a été récemment confortée par l'existence de corrélations significatives entre les activations frontales et les performances mnésiques

(Lacomblez & Mahieux-Laurent, 2003 ; Bakchine & Habert, 2007; Barbara, Castets & al., 2007).

Ainsi, les travaux réalisés ces dernières années concernant la maladie d'Alzheimer ont permis une description précise des perturbations cognitives et de leurs substrats cérébraux. **Ces perturbations sont dominées par les troubles de différents systèmes de mémoire.** Les études insistent également sur les capacités qui sont plus longtemps préservées. Elles ont permis de mettre l'accent sur la nécessité de rechercher, chez un patient susceptible de présenter une maladie d'Alzheimer, des troubles « authentiques » de la mémoire épisodique, notamment en rappel différé, une altération de la mémoire sémantique, des fonctions exécutives ou des aptitudes visuo-spatiales. Ces connaissances devraient permettre un diagnostic plus précoce de la maladie et, en conséquence, une meilleure prise en charge des patients. Par ailleurs cette prise en charge s'appuiera principalement sur les capacités préservées, mises en évidence grâce à un bilan neuropsychologique (Barbara, Castets & al., 2007; Chételat, 2013; Duyckaerts, 2013).

IV. La sémiologie

Les perturbations les plus précoces et les plus fréquentes sont des troubles bénins de la mémoire, portant sur les faits récents et le plus souvent sur des détails de la vie quotidienne (Eustache, Agniel & al., 1993, Chételat, 2013).

Il s'ensuit une lente évolution des symptômes qui vont progressivement s'étendre à des **troubles de l'organisation et de la programmation** (fonctions exécutives) (Juillerat, Van Der Linden & al., 2000), **du langage** (aphasie), **une maladresse gestuelle** (apraxie), **un défaut de reconnaissance des objets, des lieux, des personnes** (agnosie) (Dubois 2013).

L'altération des fonctions cognitives est un facteur de risque de l'apparition d'incapacités pour les activités élémentaires de la vie quotidienne (Pérès & al., 2008). Le score de 16 au MMSE semble être un point de transition en dessous duquel les perturbations commencent à apparaître dans les 12 mois (Boller, Dalla Barba & al., 1996).

1. La mémoire épisodique

La mémoire épisodique permet de se souvenir des événements personnellement vécus, dans leur contexte temporel et spatial. **Ces troubles occupent une place centrale dans la maladie**

d'Alzheimer et se caractérisent par des **difficultés à acquérir de nouvelles informations et à restituer des souvenirs**, en particulier ceux portant sur des faits récents. Ils se distinguent du déclin de la mémoire lié à l'âge, tant par leur ampleur que par leur nature, puisqu'ils concernent les différentes étapes de la mémorisation, **l'encodage, le stockage et la récupération des informations**, ces derniers étant moins spécifiques car observés dans de nombreuses affections (Laisney & al., 2005 ; Amiéva & al., 2007).

On observe un **déficit du rappel libre des informations**, et le rappel indicé (par exemple, « quel était le nom de la fleur ? ») n'améliore guère les performances, ce qui traduit des difficultés d'encodage et de stockage (Amiéva & al., 2007).

2. La mémoire sémantique

La mémoire sémantique, qui stocke les mots, les concepts, les connaissances sur le monde ainsi que la sémantique personnelle (connaissances générales sur soi-même), **peut être perturbée précocement dans la maladie d'Alzheimer**, alors qu'elle résiste bien aux effets de l'âge, ce qui fait de son atteinte un argument en faveur d'une maladie dégénérative (Dubois, 2007). Les troubles de la mémoire sémantique seraient parmi les meilleurs prédictifs du déclin ultérieur des capacités cognitives.

Les troubles affectent davantage les connaissances spécifiques que les connaissances générales et se manifestent par des erreurs constantes d'un moment à l'autre et d'une épreuve à l'autre, ce qui signe la dégradation des concepts (Laisney & al., 2010).

Le langage écrit est également perturbé dans la maladie d'Alzheimer, le symptôme le plus évocateur étant une tendance à régulariser l'écriture des mots irréguliers (fame, onion, otone) (Glosser & al., 2002).

3. La mémoire de travail

La mémoire de travail, qui permet de stocker et manipuler de petites quantités d'informations pendant un bref laps de temps, **est également perturbée très tôt dans la maladie d'Alzheimer**. « **L'administrateur central** », responsable de la distribution des ressources attentionnelles et de la coordination des autres systèmes de la mémoire de travail, est **particulièrement sensible à la pathologie**. **La mémoire de travail est couramment évaluée à l'aide de tâches d'empan (répétition de séries de chiffres, à l'endroit et à l'envers) ou de paradigmes de doubles**

tâches. L'atteinte de l'administrateur central doit être considérée comme l'une des perturbations cognitives fondamentales de la maladie d'Alzheimer, qui se répercute sur de multiples tâches (Amiéva & al., 2007; Dubois 2013).

4. La mémoire procédurale

Les systèmes de plus bas niveau, comme le système de représentations perceptives, qui sous-tend les effets d'amorçages perceptifs, et la mémoire procédurale, qui sous-tend les habitudes, **sont plus résistants**, tout du moins aux premiers stades de l'affection. **La préservation de ces systèmes de mémoire peut servir de socle à la prise en charge des patients** (Amiéva, 2007).

5. Les troubles du langage

Les troubles du langage dans la maladie d'Alzheimer sont caractérisés par une très grande diversité interindividuelle, et une évolution indépendante des autres troubles cognitifs (Cardebat, Aithamon & al., 1995). Ils peuvent apparaître de façon très précoce, constituant ainsi un mode d'entrée dans la maladie (8 à 15% des patients présenteraient des troubles langagiers au stade précoce). L'âge de début des troubles, avant 65 ans, pourrait constituer un facteur de risque de développement de futurs troubles phasiques (Tran, Dasse & al., 2012).

Les troubles du langage, sont ceux qui sont les plus précocement mis en évidence, parfois dès le stade pré-clinique, avant même que le diagnostic de maladie d'Alzheimer ne soit posé (Tran, Dasse & al., 2012). Ils touchent principalement le versant productif oral, alors que la production écrite et la compréhension, s'ils sont altérés, ne le sont que plus tardivement. En début de maladie, on note une atteinte sélective des concepts relativement à une préservation des capacités syntaxiques (Rousseau & Gatignol, 2013).

Les principales manifestations des troubles phasiques dans la maladie d'Alzheimer sont l'anomie, l'appauvrissement du discours, un défaut d'initiation du discours et une hypospontanéité. En fin d'évolution, l'appauvrissement discursif se confirme tant du point de vue quantitatif que qualitatif : la syntaxe se dégrade, des persévérations apparaissent ainsi que des **phénomènes de palilalie et d'écholalie.**

Tout ceci causant un trouble majeur de la communication (Rousseau & Gatignol, 2013).

6. Les troubles des fonctions exécutives

D'autres fonctions cognitives que la mémoire et le langage sont perturbées dans la maladie d'Alzheimer, en particulier les fonctions exécutives, ou processus mentaux de haut niveau impliqués dans la réalisation d'une activité dirigée vers un but. **Leur perturbation est souvent précoce, et peut se manifester à un stade pré-déméntiel.** Ce sont surtout les fonctions exécutives "de base" qui sont touchées: **l'inhibition et la flexibilité.**

La mise en évidence des troubles exécutifs est un enjeu important, compte tenu de leurs répercussions dans la vie quotidienne des patients et sur la prise de conscience de leurs déficits cognitifs (Dubois, 2013).

7. Les troubles praxiques et gnosiques

Enfin, d'autres troubles surviennent plus ou moins précocement au cours de l'évolution de la maladie d'Alzheimer, tels **une apraxie** (difficulté à réaliser des gestes sur ordre), **une agnosie** (difficulté à identifier des objets) ou encore des **troubles visuo-spatiaux** qui s'expriment par des difficultés à réaliser des dessins géométriques ou figuratifs, spontanément ou en copie (Bakchine & al., 1989; Guériot-Milandre, 1997).

8. Les troubles du comportement

La maladie s'accompagne également de divers troubles du comportement qui viennent aggraver les troubles cognitifs et peuvent diminuer la tolérance de l'entourage du patient : **repli sur soi, apathie, symptômes dépressifs, troubles du sommeil, de l'appétit, agitation, hallucinations...** (Pellissier, 2010).

Enfin, des signes neurologiques somatiques apparaissent le plus souvent, entraînant des troubles de l'équilibre, de la marche, et augmentent le risque de chutes.

Il est à noter que la majorité des troubles comportementaux sont en lien avec un syndrome confusionnel, une douleur, un effet iatrogène ou un environnement inadapté, encore mal pris en compte du fait d'un manque de formation des aidants familiaux et des professionnels de santé (Amiéva & al., 2007).

9. Les troubles associés

D'après les travaux de Boller et al., en 1991 puis en 1996, on observe :

- Des troubles de la marche, de l'équilibre et des chutes
- Une altération de la perception visuelle indépendamment de toute pathologie ophtalmologique. Ainsi, la perception des formes, des mouvements mais également des couleurs peut être altérée.
- Les réflexes archaïques (réflexes palmo-mentonniers, de préhension, de moue, de succion...) réapparaissent leur présence étant liée à la survenue d'une incontinence.
- Le risque de crises convulsives est multiplié par 10 chez les patients atteints de maladie d'Alzheimer, comme dans d'autres démences.

V. La stimulation cognitive

Les médicaments symptomatiques actuellement disponibles ont une efficacité modeste (parfois contestée) **sur l'évolution de la maladie.** D'autres ressources existent ; elles visent à **stimuler, consolider les fonctions du patient, améliorer son bien-être et ses capacités d'autonomie et à soutenir sa famille.** Le but premier étant le **maintien de la communication:** de la programmation du contenu verbal, à une conduite sociale adaptée en passant par la prise en compte de l'environnement. L'orthophoniste pourra mettre en place un moyen de communication compensateur si besoin est, le but étant que le patient garde le plus longtemps possible une autonomie au quotidien (Rousseau & Gatignol., 2013).

Chapitre 2 : Le transcodage et les activités numériques vus par les différents modèles

Des modèles sont nés, suite à divers travaux menés pour tenter d'établir le fonctionnement du calcul et du traitement des nombres.

Avant d'exposer les différents modèles, il est important de définir le transcodage en lui-même. **Le transcodage est la traduction d'une forme de notation à une autre.** Cette traduction se fait de façon bi-univoque, ce qui signifie que pour une forme présentée dans un code, il n'existe qu'une seule et unique forme pour la présenter dans un autre code.

I. Présentation des caractéristiques des systèmes de notation

Une quantité peut être représentée de différentes manières. Par exemple, la quantité 3 peut être transcrite par sa valeur quantitative (°°°), ou en chiffres romains (III), en système binaire (11), par les phonèmes correspondants [trwa] ou avec une suite de lettres (trois). Les notations verbales et arabes sont les plus couramment utilisées, elles sont régies par des règles syntaxiques, lexicales et phonologiques permettant de transcrire une quantité infinie de nombres.

1. Le système de notation verbal

Cette notation se divise en deux modalités : écrite et orale.

La transcription verbale peut se présenter sous la forme d'un mot isolé (« trois ») ou sous la combinaison de plusieurs mots, régis par un code syntaxique particulier (« trente-trois »).

L'ensemble des mots permettant de représenter une quantité est nommé **le lexique verbal des nombres**. Il est composé de différentes classes lexicales : les unités, les dizaines, et les particuliers (de 11 à 16). De plus, on trouve également **les termes « cent », « mille » et « million »** qui tout en représentant des quantités ont la caractéristique d'entrer en relation sémantique de sommes (« cent deux ») et de produits (« deux-cent ») avec les autres éléments. C'est pour cette raison qu'ils sont nommés les « **opérateurs** ».

Toute quantité peut ainsi se trouver exprimée par des relations de somme et de produit insérées dans des structures syntaxiques.

Les caractéristiques principales de ce système de notation sont une syntaxe simple, un lexique (phonologique ou graphémique) limité et une sémantique claire.

2. Le système de notation arabe

Le système arabe ne comporte que dix éléments qui sont selon les cas phonologiques ou graphémiques : les chiffres de 1 à 9 et le 0.

La notation arabe est un système positionnel : la valeur du chiffre est déterminée par sa place dans la séquence. A chaque position en allant vers la gauche, le chiffre augmente sa valeur d'une puissance de 10. Ainsi, selon sa position, le nombre représente une quantité.

Le système arabe est donc un système en base dix, et on utilise le zéro afin de maintenir en puissance 10 la valeur des chiffres situés à gauche d'une position vide.

II. Les différents modèles

Nous avons pris le parti d'exposer les modèles les plus influents.

1. Le modèle modulaire de McCloskey (McCloskey, Caramazza et Basili, 1985)

1.1. Conception du modèle : postulat de modularité

Ce modèle a été construit selon l'approche classique de la neuropsychologie cognitive.

En 1987, L'équipe de Mc Closkey tente d'expliquer les troubles du calcul en transférant au domaine numérique les méthodes d'analyse de la psychologie de la lecture. L'équipe examine alors l'analyse du traitement des nombres dans la perspective du modèle de traitement de l'information, à partir d'une étude de cas uniques.

Ce modèle est appelé « *le modèle de Baltimore* ». Il a été conçu à partir d'un recueil de données obtenues chez des sujets sains et chez des sujets pathologiques.

Les auteurs obtiennent alors **un système de traitement composé de trois modules distincts**, dont deux, dédiés au traitement des nombres (un pour la compréhension, un pour la production) et un troisième uniquement lié aux procédures de calcul. **Ces modules communiquent entre eux par l'intermédiaire de la représentation sémantique du nombre**, c'est-à-dire la représentation de la quantité à laquelle le nombre réfère (Baron, Seron & al., 1994).

Le modèle de McCloskey est donc caractérisé par deux aspects :

- Un **fonctionnement** qualifié de « **modulaire** ». Cela signifie que lors du traitement d'un stimulus, certaines étapes peuvent être affectées, comme d'autres peuvent demeurer intactes. C'est grâce à une analyse des dissociations entre d'une part des capacités numériques préservées et d'autre part des capacités numériques atteintes, que l'on a pu rendre compte d'une indépendance fonctionnelle des composantes de traitement (McCloskey, Caramazza & al., 1985).
- le **rôle incontournable du système sémantique** (activation systématique) (McCloskey, 1992).

Le modèle fait état d'une **architecture qui se compose de plusieurs modules** (unités distinctes), que l'on va s'attacher à décrire de façon plus approfondie :

On distingue le sous-système de compréhension et le sous-système de production.

Le **module de compréhension** des nombres sert à élaborer, à partir d'une représentation symbolique, (nombre arabe ou verbal entendu ou écrit) une représentation de la quantité correspondante, par le biais de la représentation sémantique. A l'inverse, le **module de production** permet à partir de la représentation sémantique de générer un nombre dans quelle que représentation que ce soit, qu'elle soit arabe ou verbale. Dans les deux cas, **les processus syntaxiques et lexicaux sont séparés.**

Chaque sous-système est spécifique à la notation.

Il existe des mécanismes dédiés à la compréhension, et d'autres liés à la production, qui permettent de convertir un nombre quelle que soit sa forme (3, trois, /trwa/) en une représentation abstraite unique et surtout indépendante de la modalité pour la compréhension et en une autre forme de notation/sortie pour la production (Baron, Seron & al., 1994).

Ces deux systèmes renferment d'autres sous-systèmes :

- **Les sous-systèmes numériques verbaux**, qui impliquent un traitement lexical (phonologique et graphémique) et syntaxique des numéraux,
- **Les sous-systèmes numériques arabes**

Ainsi, pour comparer deux quantités, 900 et 109 par exemple, il est nécessaire d'activer le processus de compréhension lexical du module de compréhension du traitement des nombres pour décoder les mots « cent » et « neuf », puis d'activer dans un second temps les processus de compréhension syntaxique pour comprendre que le 9 de 900 est de valeur multiplicative tandis

que celui de 109 est de valeur additionnelle. Avant de pouvoir effectivement dire lequel des deux nombres est le plus grand, **il faudra passer par la représentation sémantique afin d'activer la représentation de la quantité.**

Au passage, on remarquera que le **traitement des nombres demande des capacités de mémoire de travail**, afin de garder en mémoire les éléments lexicaux pendant le traitement syntaxique, puis de conserver le résultat de ces analyses pendant l'établissement de la représentation d'une quantité (Baron, Seron & al., 1994).

Enfin, **le module de calcul** permet grâce à des sous modules spécifiques, de récupérer en mémoire la réponse à un calcul simple (connaissance des faits arithmétiques), de comprendre et de produire correctement les symboles opératoires (reconnaissance des symboles) et de mettre en œuvre des procédures adéquates pour trouver la réponse à des calculs dont le résultat n'est pas établi en mémoire procédurale (procédures de calcul).

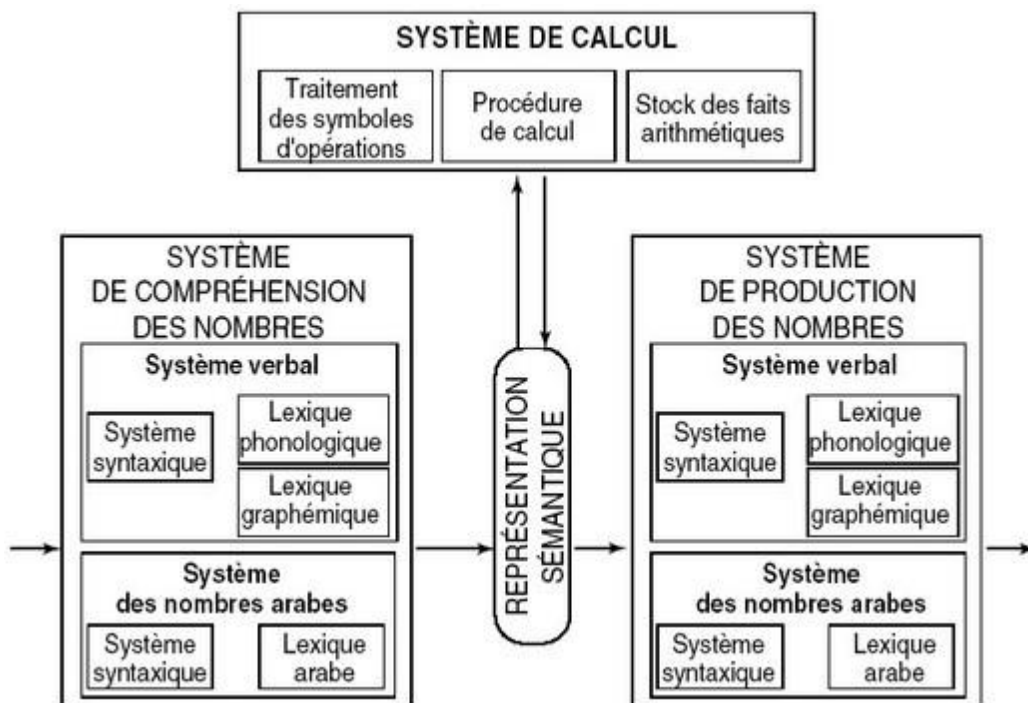


Figure 5 : Modèle de traitement des nombres et du calcul de Mc Closkey (Seron & Deloche, 1994)

1.2. Dissociations de performances

Dissociations observées :

- **production/compréhension**: Cas d'un patient qui présente une production altérée, car il est incapable de produire correctement des nombres mais à l'inverse il garde une bonne compréhension des nombres (Benson & Denckla 1969)

- **arabe/verbal** : Cas d'un patient qui pouvait tout à fait produire des numéraux écrits mais qui échouait à produire des numéraux oraux (non lié à un problème de production orale).

- **lexique/syntaxe**

- **atteinte spécifique de la reconnaissance des opérateurs**

2. **Modèle du transcodage asémantique des nombres de Deloche et Seron (1987)**

Ce modèle a été bâti sur la base d'**observations de patients aphasiques** dans les activités de transcodage numérique (Deloche & al., 1993).

Ces travaux ont montré la diversité des erreurs produites, et ont été à **l'origine du premier modèle cognitif de transcodage des nombres** (Cipolotti & Thioux, 2004).

Les auteurs se sont intéressés aux procédures de transcodage, sans que leur modèle ne pose d'hypothèses au niveau du calcul. C'est un **modèle asémantique**, c'est-à-dire qu'**il suppose que le transcodage ne nécessite pas de représentation de la quantité pour pouvoir être efficient.**

Les auteurs (Deloche & Seron) ont sélectionné des sujets atteints d'aphasie de Broca ou de Wernicke à qui il était demandé une transcription bi-univoque d'un nombre présenté en une représentation arabe (6) vers une forme verbale écrite (six).

Les auteurs ont pu remarquer que les représentations pouvaient être lésées isolément, ils en ont alors déduit **deux types d'erreurs différentes.**

- **les erreurs syntaxiques**, où la forme syntaxique produite est différente de la forme syntaxique attendue mais dans laquelle les éléments lexicaux sont corrects (Par exemple, « deux cent vingt-sept » transcrit « 200207 »).

- **les erreurs lexicales** où l'enveloppe syntaxique est juste mais où les unités lexicales qui la composent sont erronées (« deux cent vingt-sept » traduit par « 208 »).

Deloche et Seron remarquent également que parmi les erreurs lexicales, certains patients se trompent uniquement de classe (par exemple 3 transcrit 30) alors que d'autres confondent la position à l'intérieur de la classe (comme dans 3 traduit par 5).

Ainsi, **une erreur de classe serait due à un mauvais encodage des informations correspondant à la classe lexicale du numéral verbal qui a été présenté**, tandis **qu'une erreur de positionnement dans la classe serait le fait d'un mauvais encodage des informations de position**, indépendamment des informations lexicales. Ceci explique le fonctionnement des erreurs dites syntaxiques.

A partir des dissociations observées, Deloche et Seron posent l'hypothèse d'**une organisation syntaxique et lexicale du transcodage** (Baron, Seron & al., 1994).

2.1. La modélisation du processus de transcodage

Selon eux, le transcodage d'un nombre verbal en un nombre arabe se segmente en deux étapes distinctes.

On a tout d'abord **une étape lexicale** : on extrait l'information contenue dans le numéral verbal écrit. Il faut parcourir la chaîne de gauche à droite, la segmenter pour isoler les primitives lexicales et activer les représentations correspondantes dans le lexique.

La seconde étape correspond au transcodage à proprement parler. Il se définit par l'application d'un ensemble de règles de réécriture.

Chaque primitive lexicale est classée selon deux critères : la classe à laquelle elle appartient (unité, dizaine...) et la position qu'elle occupe à l'intérieur de celle-ci.

Ainsi, 2, 6, 9 font partie de la même classe (les unités) mais occupent des positions différentes. A l'inverse, 6, 16, 60 renvoient à une même position mais n'appartiennent pas la même classe (Baron, Seron & al., 1994).

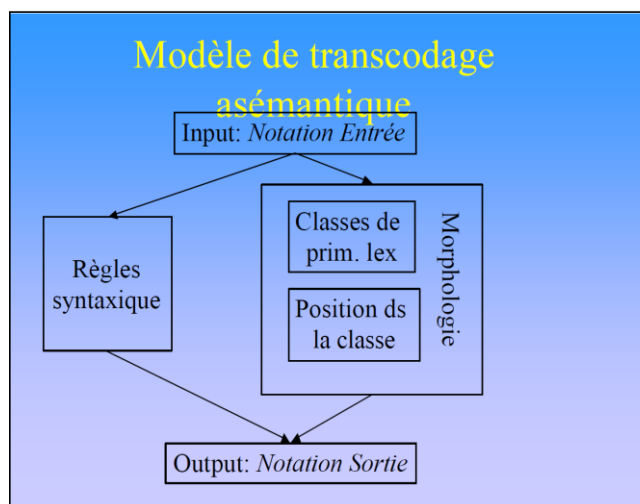


Figure 6 : Le modèle asémantique du transcodage (D'après Pesenti et Seron, 2000)

3. Le modèle du triple code de Dehaene (1992)

3.1. Description

Ce modèle datant de 1992 ne nécessite pas la représentation sémantique du nombre pour le transcodage. Il est fondé sur l'analyse des activités numériques de quantification qui regroupent les activités de comparaison de deux nombres, de subitizing et d'approximation qui selon l'auteur sont des facultés présentes chez certaines espèces animales ainsi que chez le jeune enfant. **Il en déduit alors que ce sont des activités indépendantes du langage** (Dehaene, 1997).

Plus tard, les expériences piagétienne affineront cette théorie en mettant en évidence que ces activités, dites « proto-numériques », sont bien des activités pré-verbales.

Selon Dehaene, au niveau le plus concret, le nombre est une collection d'objets du monde extérieur (la numérosité) qui doit être reconnue (la quantification) et représentée mentalement sous la forme d'un numéral. Et c'est précisément cette opération de représentation que l'auteur définit comme antérieure au langage (Baron, Seron & al., 1994).

La représentation sémantique serait donc concrète en se rapprochant de l'analogique, et non plus abstraite telle qu'elle a pu être décrite dans les modèles antérieurs.

A partir d'un ensemble de travaux menés chez le sujet normal, Dehaene décrit la structure et le fonctionnement de cette représentation sémantique analogique interne en l'apparentant à **une frise numérique orientée de la gauche vers la droite** (du plus petit au plus grand) en précisant le **caractère compressif de cette ligne** (les distances ayant tendance à rétrécir dans la zone des grandes quantités). (Dehaene 1989 ; Dehaene, Dupoux & al.1990).

En somme, les quantités seraient directement contenues dans la structure syntaxique des nombres et il ne serait pas nécessaire de passer par une représentation syntaxique des quantités.

Ce modèle donne par conséquent un poids non négligeable à la faculté d'estimation de quantités non symboliques, telle que la comparaison rapide de deux collections, l'estimation de quantités sans possibilité de comptage ou encore la copie de nombre depuis un modèle.

Au final, le modèle du triple code de Dehaene comprendra des éléments du modèle de McCloskey (modularité des composants) et de Campbell et Clark (codes multiples).

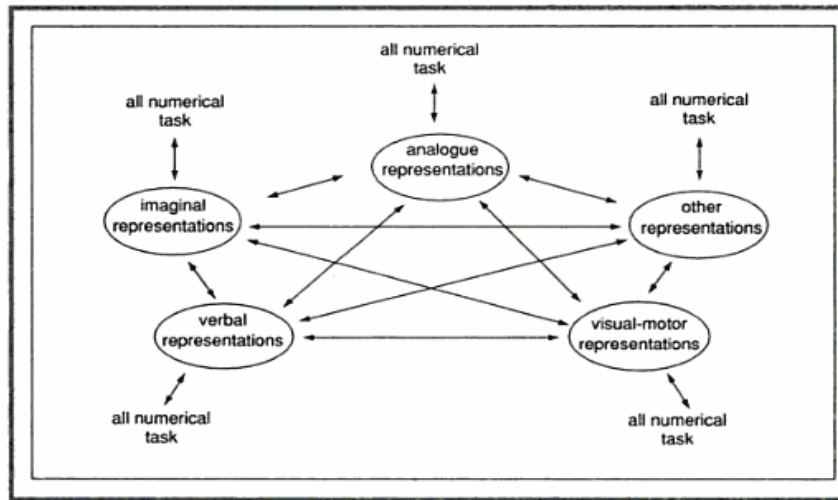


Figure 7 : Le complexe d'encodage d'après Campbell & Clark, 1988 ; Clark & Campbell, 1991.

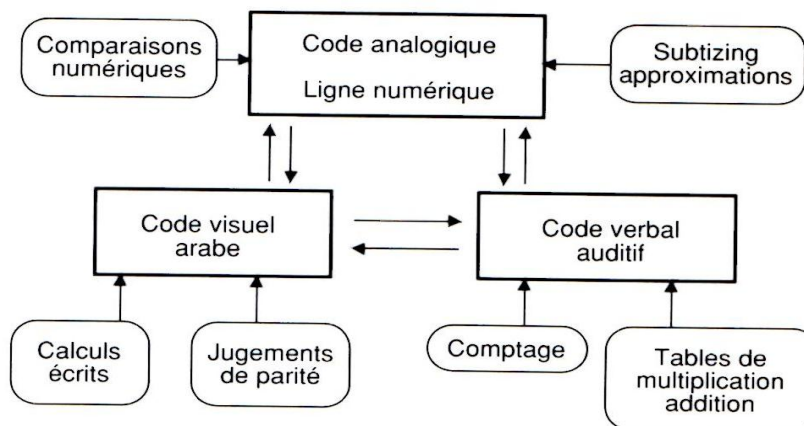


Figure 8 : Codes numériques et traitements arithmétiques (Dehaene, 1992)

Au plan fonctionnel, il postule l'existence de trois types de représentations mentales des nombres, de deux voies de communication et de deux types de mécanismes.

3.2. *Les représentations du nombre vues au travers des aspects anatomo-fonctionnels (Dehaene & Cohen, 2000) :*

- **une représentation analogique** : C'est une compétence pré-langagière qui consiste en une estimation de grandeur sans faire appel à la quantité précise, comme par exemple estimer le milieu d'une droite. Cette représentation serait en connexion avec nos habiletés de lecture, orientée de gauche à droite : il s'agirait d'une ligne mentale représentant les

nombres des plus petits au plus grands et obéissant à la **loi de Weber-Fechner**. Elle procure une connaissance des nombres en rapport avec les autres. Cette représentation est localisée dans les régions pariétales bi-latérales du cerveau.

La représentation analogique joue un rôle dans le **calcul approximatif, l'estimation, et le jugement de quantité** ainsi que dans les **comparaisons numériques** (magnitude).

- **une représentation visuelle arabe** : les nombres sont inscrits sous la forme de chiffres ou suites de chiffres, et on prend en compte le cadre spatio-temporel pour les appréhender. Cette représentation va intervenir dans les jugements de parité et dans les activités arithmétiques écrites. Comme pour la reconnaissance des lettres et des formes, **ce codage est plutôt localisé dans la zone occipito-temporale gauche du cerveau.**
- **une représentation auditivo-verbale** : c'est-à-dire produire et comprendre les nombres sous leur enveloppe phonétique [trwa], aussi bien à l'oral qu'à l'écrit (trois). Ils sont perçus comme une séquence de mots, et organisés selon les lois du système syntaxique. Cette représentation intervient dans l'accès aux faits arithmétiques, la mémorisation et le comptage.

Pour chacune de ces représentations mentionnées, on attribue des **mécanismes de compréhension et des mécanismes de production spécifiques à chaque format.**

Ces représentations sont connectées entre elles, autorisant un **transfert d'une notation vers une autre**. Les représentations ont ainsi la possibilité d'être converties instantanément de l'une vers l'autre **de façon asémantique** (transcodage). Cette organisation est ce qui distingue le modèle de Dehaene de celui de Campbell et Clark : **En fonction de la tâche numérique ou arithmétique à accomplir, on activera préférentiellement une représentation plutôt qu'une autre moins appropriée.** Chaque représentation se fait donc le support privilégié de tâches en particulier. Ainsi, les faits arithmétiques par exemple seraient stockés sous la forme d'associations verbales, tandis que les calculs écrits et les jugements de parités impliqueraient la manipulation mentale d'images encodées en chiffres arabes.

Dehaene et Cohen sont parmi les premiers à proposer une représentation anatomo-fonctionnelle de leur modèle (Dehaene & Cohen, 2000) en se basant sur les dissociations observées chez un patient aphasique, Mr Nau, incapable de réaliser un calcul précis et de vérifier le résultat proche mais erroné d'un calcul simple (faits opératoires), mais par ailleurs capable de rejeter un résultat

éloigné de la réponse correcte (analogie). Ils en déduisent donc que ces deux capacités ont un mode de fonctionnement distinct et donc une localisation lésionnelle qui l'est aussi. En procédant par dissociations ils en déduisent le substrat anatomique qui suit.

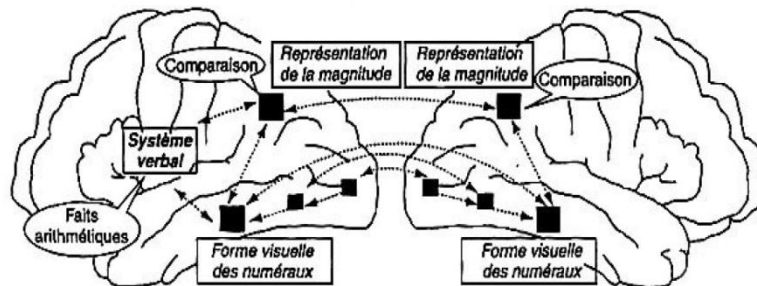


Figure 9 : Les représentations cognitives et neuro-anatomiques du modèle du triple code et leurs corrélats neuronaux

Il ressort de ce modèle que **l'hémisphère gauche est le plus impliqué dans les activités numériques** (Dehaene & Cohen, 2000).

- Les deux hémisphères possèdent des aires pour les capacités analogiques (jonction pariéto-occipitale) et la représentation visuelle arabe (région occipito-temporale), mais le droit est plus limité, de par un lexique réduit . Il est donc capable de reconnaître moins de nombres.
- Certaines capacités ne sont présentes que dans l'hémisphère gauche. Ce sont surtout celles liées aux fonctions langagières et qui dépendent donc des aires du langage, telles que la représentation auditivo-verbale (gyrus frontal antérieur, gyrus frontal et moyen), et la récupération en mémoire des faits arithmétiques. Il est à noter que le calcul mental est étroitement lié au langage et à la représentation verbale des nombres.
- Dans l'hémisphère gauche, les représentations visuelles, verbales et analogiques sont reliées entre elles par les voies de transcoding, tandis que dans l'hémisphère droit, les connections sont présentes uniquement entre la représentation visuelle et la représentation analogique.

Chez les sujets sains, les représentations visuelles et analogiques entre hémisphère droit et gauche se font par l'intermédiaire du corps calleux.

4. Le modèle ADAPT de Barrouillet et col. (2004)

4.1. Présentation du modèle

Ce modèle présente trois caractéristiques principales : il est **développemental, asémantique et procédural**. Il a été mis au point à partir de l'étude du développement des capacités de transcodage chez l'enfant.

ADAPT (A Developmental, Asemantic, and Procedural Transcoding model) est le **premier modèle développemental de transcodage des nombres**. Il explique l'acquisition et la formation de nouvelles règles de transcodage à partir des règles déjà apprises et le stockage de nouvelles connaissances en mémoire à la suite de chaque transcodage. Ces connaissances dirigent à leur tour les transcodages futurs.

Ainsi, ADAPT est un système qui s'auto-modifie dans son fonctionnement, par un processus élémentaire d'apprentissage associatif.

Il y a trois étapes, selon l'état du développement des apprentissages :

- **ADAPT_{BASIC}** pour les premières étapes de l'apprentissage et le transcodage des petits nombres (de « un » à « quatre-vingt-dix neuf »),
- **ADAPT_{ADV}** correspond à l'état du système, lorsque les formes les plus simples ont été mémorisées (à partir de 99),
- **ADAPT_{LD}** qui représente un état intermédiaire (lorsque certaines formes simples comme les dizaines-unités ne sont pas encore stockées en mémoire).

Enfin, ADAPT est un **modèle procédural**. En effet, un système de production constitue le cœur de ce modèle. Ce système gère la transformation de la forme verbale en sa forme correspondante en chiffres arabes, en appliquant un ensemble de procédures.

Le modèle est basé sur une architecture classique, dans laquelle le système de production utilise les connaissances stockées en mémoire (Anderson, 1993; Anderson & Lebière, 1998). Il suppose aussi que la chaîne verbale est maintenue active pendant le traitement dans une mémoire phonologique tampon. **Cette dernière peut correspondre dans le modèle de Baddeley (1990) à la boucle articulatoire. La difficulté de ce stockage en buffer dépendrait du nombre de syllabes et de leur degré de similarités phonologiques** (Baddeley, 1986 ; Eriksen, Pollack & al., 1970 ; Klapp, 1971). En outre, vue la fréquence relative des items dans le lexique numérique,

(Dehaene & Mehler, 1992) certains items ont un coût de stockage plus élevé que d'autres. Ce processus d'encodage phonologique est suivi par un processus de « **parsing** » qui découpe cette chaîne, du début du signal auditif à la fin. Avant tout apprentissage systématique, le découpage de la chaîne numérique verbale correspondant à un nombre résulte en l'identification de primitives lexicales.

La formation des associations en mémoire à long terme entre les formes verbales et les formes en chiffres correspondantes, est un processus élémentaire d'apprentissage et d'automatisation (Logan, 1988). Avec la pratique, le renforcement de ces traces mémorielles (Anderson, 1993; Siegler, 1996) ou la multiplication des traces identiques (Logan, 1988) pourraient augmenter la probabilité d'une récupération directe.

Comme Deloche et Seron (1987) l'ont postulé, **les connaissances en mémoire à long-terme associent la primitive avec sa position dans la classe lexicale** (« quatre » et « quarante » sont associées à la quatrième position respectivement dans les classes des unités et des dizaines). Après avoir récupéré cette valeur positionnelle en mémoire à long terme, elle sera placée par les procédures dans la chaîne de chiffres en construction, en mémoire de travail.

4.2. *L'hypothèse principale d'ADAPT*

Lorsqu'une chaîne verbale correspond à une unité représentative stockée en mémoire à long-terme, cette chaîne est transcodée par une récupération directe en mémoire de sa forme en chiffres. **Un transcodage algorithmique** (en utilisant des procédures) **est utilisé lors de l'échec de la récupération directe en mémoire**. En outre, la récupération dépend de la force de la représentation en mémoire à long terme (Anderson, 1993). Cette récupération peut donc échouer, soit parce que la forme en chiffres n'est pas stockée en mémoire à long terme (si elle n'a jamais été perçue auparavant), soit parce que l'association entre la forme verbale et la forme en chiffres n'est pas suffisamment forte. Ainsi, la chaîne verbale serait découpée en unités, susceptibles d'être traitées par le système de production.

Les procédures qui constituent le cœur du système ont la forme de « condition-action » Elles doivent lire le contenu de la mémoire de travail, y placer de nouvelles représentations ou compléter les représentations existantes.

La partie condition a un rôle fixe. Elle vérifie l'état des connaissances qui peuvent se trouver en mémoire de travail et qui peuvent être de trois types:

- la nature de l'entrée, qui peut être une unité représentative, un séparateur, ou la fin de la chaîne verbale,
- la présence de connaissances récupérées en mémoire à long-terme et devant être placées dans la chaîne de chiffres en construction,
- la présence de cases vides dans cette chaîne, créées par l'application des procédures précédentes.

La partie action des procédures joue deux rôles. Le premier, est de déclencher la récupération des formes arabes en mémoire à long-terme et de les placer dans la mémoire de travail en attendant qu'elles soient utilisées par d'autres règles. Le deuxième rôle consiste en la concaténation de ces formes dans une chaîne de chiffres en construction, en gérant le placement des cases vides. En fin de traitement, la chaîne en chiffres arabes construite par les procédures, est stockée temporairement dans un buffer et sera transformée en production écrite par des procédures grapho-motrices.

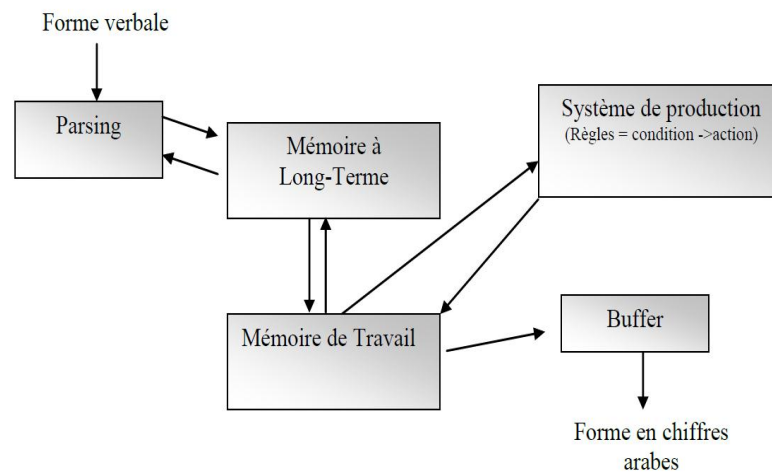


Figure 10 : Les différentes structures cognitives entrant en jeu dans le modèle ADAPT

Le système de production ne fonctionne pas indépendamment des autres structures constituant le système cognitif. Il est, par contre, en constante interaction avec la mémoire de travail, qui joue l'intermédiaire entre les informations venant de l'extérieur (la chaîne verbale) et les informations provenant de la mémoire à long-terme (les connaissances déclaratives acquises antérieurement par l'individu).

En accord avec Anderson (1993), La mémoire de travail contient donc, au cours du traitement, des représentations déclaratives qui prennent la forme :

- **de représentations d'éléments de la situation externe** (les unités verbales isolées par le parsing),
- **de connaissances récupérées en mémoire à long-terme** (les formes en chiffres correspondant aux formes verbales),
- **de représentations construites par le système de production** par l'application de procédures (la chaîne en chiffres arabes en construction).

Chapitre 3 : La numérosité

I. La perception de la numérosité

1. Abstraction de la numérosité

Il est communément répandu que **les nombres sont représentés de manière abstraite et ce, dans les deux lobes pariétaux**. Cette allégation se fonde sur l'incapacité à démontrer des différences entre les représentations à travers les différentes notations. Les recherches actuelles révèlent une **asymétrie droite/gauche dans la fonction du lobe pariétal**. Alors que le lobe pariétal gauche contient une représentation abstraite des nombres, la représentation numérique dans le lobe pariétal droit est dépendante de la notation, et contient ainsi des représentations non abstraites.

La plupart des théories de la cognition numérique supposent que la représentation des nombres dans les deux sillons intrapariétaux est de nature abstraite, et est donc partagée entre les différentes notations (Dehaene, Cohen & al., 1998 ; Mc Closkey, 1992 ; Campbell, 1994).

L'argument majeur en faveur de cette théorie est le calcul du temps de réaction en fonction des différents types de notations. **Les TDR sont considérés comme étant identiques quel que soit le format sélectionné** (Barth, Kanwischer & al., 2003-2005 ; Dehaene & Akhavein, 1995 ; Schwarz & Ischebeck, 2000).

L'imagerie cérébrale fournit une preuve supplémentaire à la validation de cette théorie (Eger, Sterzer & al., 2003). Néanmoins, il faut se garder de toute conclusion hâtive car le manque de résolution anatomique peut empêcher une bonne observation des mécanismes mis en jeu. Ce problème est aggravé par l'utilisation du lissage spatial, qui pourrait entraîner un flou d'activation sur plusieurs pixels.

Une expérience a été réalisée dans six conditions différentes avec trois notations (chiffres arabes, mots-nombres, notation hybride/mixte), parues dans la même quantité ou dans différentes quantités. Un seul événement apparaissait à la fois. Chaque nombre a été présenté pendant 350 ms avec un laps de temps de 1300 ms entre le premier et le second nombre. Le type de police et la taille du second stimulus différaient du premier afin d'exclure tout effet perceptif (biais).

Les résultats ont permis de mettre en évidence qu'une large partie du signal était modifiée pour les essais avec différentes quantités, et ce de façon beaucoup plus notable que pour les essais avec les mêmes quantités. **Ce constat laisse penser qu'il existerait un effet d'adaptation à la quantité.**

Cantlon et al. affirment que **l'abstraction, la représentation indépendante de la notation dans l'appréciation des nombres, évolue et se développe progressivement au cours des premières années de vie.**

L'effet de notation-indépendant dans la performance numérique des humains est une preuve qu'il existe un système unitaire pour la représentation et/ou la comparaison des valeurs numériques symboliques et non-symboliques. De récentes études ont exposé l'argument selon lequel, le système symbolique constituerait le fondement sémantique des opérations numériques symboliques à travers le développement (Gilmore & al., 2007 ; Lipton & Spelke, 2005).

2. Trois systèmes de quantification

Il existe trois types de processus visant à extraire et activer une représentation numérique d'une collection: **les quantificateurs** (Pesenti & Seron, 2004).

Cette aptitude a été éprouvée dans des conditions très variées et sur de nombreux paradigmes tels que les pigeons ou encore les rats.

Chez les adultes, on a relaté trois processus de quantification: **le subitizing, le dénombrement et l'estimation.**

2.1. Le subitizing

Le subitizing correspond à la capacité d'extraire de façon rapide les éléments d'une collection. Ceci ne concerne que les collections réduites à 3 ou 4 éléments. **Cette aptitude est à la fois extrêmement rapide et précise.** En effet, on remarque que le temps de réponse n'est allongé que modérément (environ 50 ms) quand on rajoute 1 item. Au-delà de la frontière de 3 ou 4 éléments, l'inverse se produit car le dénombrement est plus long et le taux d'erreurs croît.

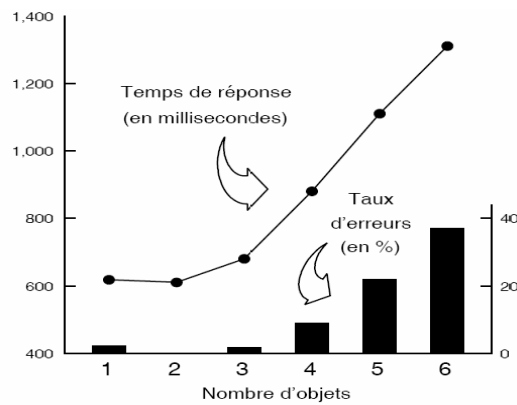


Figure 11 : Latences des réponses et taux d'erreurs dans une tâche de quantification d'objets en fonction du nombre d'objets présentés

Ce phénomène met à jour une discontinuité entre subitizing et dénombrement. On aurait de ce fait une transition marquée entre les deux, qui laisse à penser que ces deux processus sont de nature différente.

Le subitizing est considéré comme étant **un processus pré-attentif** de reconnaissance visuelle (Pesenti & Seron, 2004); il ne nécessiterait donc pas d'effort particulier pour appréhender la quantité d'un ensemble.

La numérosité peut covarier avec d'autres dimensions des stimuli comme la densité, la taille ou la brillance des items présentés (Delazer, Karner & al., 2006). Il est donc impératif de bien contrôler ces facteurs pour éviter des biais.

2.2. *Le dénombrement*

Le dénombrement se différencie du subitizing en ceci qu'il s'agit d'une opération complexe mettant en jeu certaines compétences, qui s'acquièrent par l'expérience et l'entraînement (Delazer, Karner & al., 2006). Il **implique l'utilisation du langage et la mise en correspondance terme à terme avec chaque mot-nombre**. Le dénombrement peut se faire par le biais du pointage digital ou bien par le regard, en pointant mentalement chaque item cible.

L'acte de dénombrer repose sur plusieurs principes qui sont:

- Une stricte correspondance entre un élément à énumérer et une étiquette verbale de la chaîne numérique.
- Respecter l'ordre stable et conventionnel de la chaîne.
- Comprendre le fait que c'est le dernier nom de nombre prononcé qui renvoie à la numérosité de la collection. C'est-ce qu'on appelle communément la valeur

cardinale.

2.3. *L'estimation*

L'estimation est la possibilité de **quantifier de façon approximative un ensemble d'éléments**, sans avoir recours à la mise en correspondance et au langage. **Cette faculté paraît exister indépendamment des habiletés langagières** et s'apparenterait donc plus volontiers à un dénombrement non verbal.

Se pose la question de savoir sur quoi repose l'estimation de la numérosité. D'aucuns soutiennent que les êtres humains (bébés, enfants, adultes) autant que les animaux seraient pourvus d'une représentation numérique pour le moins abstraite, consacrée à l'estimation de la numérosité (Pesenti & Seron, 2004). Si tel est le cas, il serait tout à fait possible d'appliquer cette représentation abstraite à n'importe quel ensemble composé d'éléments discrets. **Ainsi, on ne noterait aucun changement de traitement, que les éléments soit de nature homogène ou bien hétérogène, qu'ils soient présentés simultanément ou bien séquentiellement et enfin qu'il s'agisse d'événements auditifs ou d'objets visuels.**

Cependant, certaines propriétés perceptives pourraient faciliter ou au contraire compromettre les jugements numériques. On a pu observer par exemple que la régularité pouvait aider à percevoir le nombre et que la densité permettait de constituer des groupements. Les jugements de numérosité dépendraient alors de mécanismes perceptifs, basés sur la détection de propriétés physiques pertinentes des stimuli.

Certaines expériences ont été entreprises pour tenter de découvrir le fonctionnement de l'estimation numérique. D'un point de vue neuropsychologique, on a montré que **les capacités d'estimation relèvent davantage de l'hémisphère droit plutôt que de l'hémisphère gauche** (expérience menée chez les sujets normaux avec stimuli en présentation tachiscopique unilatérale).

De plus, L'implication des structures pariétales dans cette faculté n'a jamais été établie formellement malgré des pistes déjà explorées.

Quant à l'imagerie fonctionnelle, seule l'IRMf a permis de mettre en évidence des corrélats neuro-anatomiques. L'objectif de cette exploration est de voir quelles sont les structures cérébrales intervenant dans les processus d'estimation, et si les circuits cérébraux activés lors de ce processus sont identiques quelle que soit la modalité de présentation (auditive ou visuelle) ou bien s'ils sont distincts. Les résultats recueillis à l'issue de ce test font état de l'activation d'un réseau de régions cérébrales (régions intrapariétales, préfrontales, dorsales latérales, prémotrices

et cortex cingulaire antérieur) strictement latéralisé à droite, et ce, indépendamment de la modalité de présentation des stimuli. Le même mécanisme de traitement serait donc mis en œuvre lors de la présentation de ces différents stimuli.

3. Le développement de la numérosité : une intuition partagée

3.1. Les compétences proto-numériques chez le bébé

Ceux qui, contrairement à Piaget, soutenaient que le bébé était dénué de compétences numériques, que tout cela lui était absolument étranger avaient-ils tort ?

C'est ce que suggèrent des recherches qui, depuis une vingtaine d'années, s'efforcent de nous montrer que le bébé possède bel et bien un socle de connaissances précoces en matière de numérosité. **Le bébé est donc doté d'un certain savoir originel, à partir duquel se greffent ultérieurement des connaissances plus complexes.**

Les compétences précoces de l'enfant en matière de cognition numérique sont récentes dans les études du développement cognitif de l'enfant. Les recherches dans ce domaine n'ont été lancées qu'à partir des années 80.

Ces recherches ont entrepris de démontrer ce phénomène par le biais du **paradigme d'habituation**. Cette expérience consiste à comparer les réactions comportementales (temps de fixation du regard) du bébé lorsqu'il est soumis à un ensemble d'éléments initiaux et lorsque l'on modifie délibérément le nombre d'items présentés. On a pu observer dans cette situation d'expérimentation, **que l'intérêt déclinait une fois que le bébé avait été suffisamment confronté à cet ensemble**. Or, quand on a introduit une collection dans laquelle on a modifié le nombre d'éléments, on a remarqué un regain d'intérêt. **Cette réaction du bébé suggère sans conteste qu'il a pu percevoir et discriminer le changement de numérosité.**

Cependant, on observe ce type de comportement uniquement pour la numérosité de petites collections.

D'autres recherches menées sur ce terrain ont confirmé cette compétence précoce du jeune enfant, mais cette fois-ci sur leur capacité à discriminer des collections de stimuli visuels ou auditifs proposés séquentiellement.

De surcroît, on atteste de leur capacité à comparer indifféremment des stimuli auditifs ou visuels ce qui confirme l'idée selon laquelle les représentations de la numérosité ne reposeraient pas sur

une modalité en particulier mais qu'au contraire on pourrait faire un transfert de l'une à l'autre. **En effet, les bébés parviennent à faire correspondre des ensembles auditifs avec des ensembles visuels.** Cela renforce l'hypothèse selon laquelle les jeunes enfants sont sensibles aux petites numérosités et ce, quelle que soit la modalité envisagée.

Il faut toutefois veiller à contrôler autant que possible les biais dans la passation, car des paramètres extérieurs peuvent compromettre la garantie de résultats fiables.

Les représentations dont dispose le bébé permettent un accès vers la réalisation d'opérations arithmétiques élémentaires. Ainsi, grâce au paradigme de « violation des attentes », **on a constaté que le nourrisson était capable dans une certaine mesure d'anticiper un résultat attendu.**

Wynn (1992) s'est prêté à une expérience inédite. Il montrait aux bébés, sous la forme d'une scène de théâtre, un ou plusieurs Mickey, et on a constaté que le nourrisson fixait peu longtemps la situation qui lui paraissait plausible en terme d'opération (ex : 1 mickey + 1 mickey = 2 mickey) alors que son regard s'attardait sur les situations jugées erronées (ex : 1 mickey + 1 mickey = 1 mickey). **Il est donc capable de détecter de manière spontanée un changement, une transformation.** Ces résultats mettent également en évidence que, quand bien même le bébé est surpris quand on lui propose une situation impossible, il a une attente précise concernant le résultat final.

3.2. *Les animaux, des espèces savantes ?*

La littérature sur la cognition animale regorge d'anecdotes mettant en scène ces animaux exceptionnels capables de prouesses. Alors fables ou réels compétences ?

Ces exploits ont été relatés dans plusieurs études, et **un certain nombre d'espèces animales se sont montrées capable de percevoir la numérosité de stimuli présentés simultanément.**

Ce type de comportement constitue une preuve d'adaptation de l'animal dans les situations quotidiennes. En effet, on peut considérer que la capacité à évaluer très rapidement des quantités numériques, se révèle cruciale dans les comportements de recherche de nourriture. Ainsi, l'animal peut apprécier la valeur de la quantité énergétique que représente tel ou tel aliment et opter pour celle qui lui procurera le plus de bénéfices. Cela peut aussi être nécessaire pour la survie de l'animal de savoir à combien d'adversaires il a affaire, pour envisager soit de se confronter à eux soit préférer la fuite pour se prémunir du danger.

Köher (1960) a démontré que de nombreuses espèces d'oiseaux parviennent à repérer le nombre de taches placées sur le couvercle de boîtes et à s'en servir d'indices pour deviner là où se trouve la récompense.

D'autres espèces, à l'instar du rat, ont été capables de localiser correctement un lieu (dans l'expérience ce sont des tunnels) en tenant compte uniquement de la position ordinale.

Les primates non humains ont des performances qui peuvent faire l'objet de comparaison avec les comportements équivalents humains. A ce propos, des études soulignent le fait que les singes sont capables de réaliser des apprentissages autour des 3 dimensions constitutives du nombre.

On explore l'aspect de cardinalité grâce à des tâches d'évaluation de numérosité d'ensembles d'éléments. L'aspect ordinal est étudié dans les tâches qui requièrent l'apprentissage de la position qu'occupe un item dans une séquence. Enfin, on évalue la capacité à réaliser des opérations de sommation et de dénombrement d'objets réels ou symboliques (Pesenti & Seron, 2000).

Brannon et Terrace (1998), ont diligenté une étude très aboutie sur la numérosité chez les primates.

Par le biais d'un apprentissage de type sériel, les singes sont aptes à discriminer la numérosité de stimuli visuels et à détecter leur disparité ordinale. Les singes tiennent compte de l'ordre ascendant du nombre des items représentés et ce, indépendamment de toute autre dimension non pertinente (taille, forme, couleur).

Face à ces phénomènes pour le moins surprenants, il faut déterminer la part du perceptif et la part du cognitif qui rentrent en jeu dans les jugements de la numérosité. Reposent-ils sur des processus élémentaires (reconnaissance de pattern visuels) ou bien doit-on les imputer à des processus de plus haut niveau : l'accès à la compréhension conceptuelle du nombre ?

4. Les substrats de la numérosité

4.1. Les neurones des nombres

Il existe une homologie dans l'organisation fonctionnelle du lobe pariétal chez l'homme et chez les autres primates. Ceci prédit que la compétence numérique des animaux est liée à des populations de neurones situées dans la profondeur du sillon intra-pariétal.

Il a été mis en évidence que des populations neuronales étaient activées en fonction du nombre présenté. En effet, des neurones déchargent préférentiellement autour d'une certaine quantité, avec une précision qui est toujours proportionnelle au nombre présenté.

Le modèle qui rend compte de ce phénomène est le modèle Log-Gaussien. Il mentionne le fait que **chaque neurone possède une courbe d'accord gaussienne sur une échelle logarithmique** (échelle logarithmique internalisée).

On a pu obtenir des données chez le chat anesthésié (Thompson & al., 1970).

Cette expérience a démontrée que seulement quelques neurones répondent au nombre séquentiel de sons ou de flashes lumineux et ce, indépendamment des modalités choisies ou de l'intervalle entre les stimuli.

La preuve la plus robuste et la plus édifiante de la corrélation entre neurones activés et quantité numérique a été mise en évidence par une étude qui fait état d'une activité de neurones isolés dans le cortex pariétal postérieur de macaques pendant qu'ils étaient exposés à des stimuli visuels variant en numérosité.

Le cortex pariétal postérieur est impliqué dans le traitement des ordres sensori-moteurs de haut niveau et reçoit des informations issues de nombreuses modalités sensorielles. Il participe également à la planification du mouvement.

Les neurones VIP montrent des préférences similaires pour une position particulière ordinale dans une séquence numérique (Nieder & al., 2006).

Des neurones sensibles au nombre d'actions sont observés dans la partie antéro-latérale du sillon intra-pariétal. Néanmoins, ils répondent souvent différemment aux deux actions.

Ce qu'on observe dans la réponse « numérique » des neurones préfrontaux :

- Chaque neurone accorde une préférence particulièrement marquée pour certains nombres, On obtient ce qu'on pourrait qualifier de « filtres ».
- Les courbes d'accord des neurones présentent un effet de distance,
- La largeur du filtre est d'autant plus grande que le nombre est de taille importante (loi de Weber).

La représentation des nombres suit un réseau pariéto-frontal ce qui signifie que l'on retrouve également des neurones impliqués dans la numérosité au niveau de la région pariétale.

Leur latence de réponse est plus courte que celle des neurones préfrontaux.

En outre, **leur sélectivité est plus élevée durant le stimulus que durant le délai.**

Pour résumer, l'information est extraite par le cortex pariétal et transite vers le cortex pré-frontal où a lieu une représentation en mémoire.

4.2. Le « sens des nombres » et la spécificité du sillon intra-pariétal (lobe pariétal)

Le lobe pariétal est une structure essentielle pour la cognition numérique.

La signification (sémantique) des nombres est contenue dans le lobe pariétal.

Les zones d'activations sont multiples: gyrus angulaire, gyrus supra marginal mais surtout sillon intra-pariétal. L'activation du SI est réalisée de manière bilatérale. Selon la tâche à exécuter, l'activation sera plus marquée sur l'un ou l'autre hémisphère.

Le hIPS apparaît comme un candidat essentiel dans la spécificité des compétences numériques : c'est un site majeur d'activation lors du traitement des nombres. Il est systématiquement activé, quels que soient les nombres manipulés et indépendamment de leur notation. Cette activation est accrue lorsque les tâches proposées mettent l'accent sur le traitement des quantités.

Selon les exigences inhérentes à la tâche, on peut supposer que ce système de base, analogique, qui s'apparente à une représentation sous forme de « ligne mentale interne », est accompagné de deux autres circuits (Dehaene & al., 2003).

Toutes les tâches numériques sont censées activer cette région (soustractions, additions, comparaisons, approximations, détection de chiffres).

Cette région répond davantage aux nombres présentés dans de nombreux formats plutôt qu'à d'autres catégories d'objets comme les lettres.

Cette zone se trouve à l'intersection des activations observées dans de nombreuses tâches de traitement numérique. Son activation augmente dans l'hémisphère droit quand les sujets doivent réaliser deux additions ou deux soustractions pour résoudre un calcul (Menon & al., 2000).

Le hIPS est plus actif lorsque les sujets estiment un résultat approximatif que quand ils calculent la solution exacte (Dehaene & al., 1999).

L'activation se révèle plus intense quand il s'agit de soustractions, plutôt que quand il s'agit de multiplications (Chochon & al., 1999).

Le hIPS est également mis à contribution dans le cas où on doit comparer deux nombres et que pour ce faire, il est nécessaire de recourir à une échelle numérique. On remarque aussi que son activité est décuplée quand on a affaire à une comparaison de nombres et est moindre quand il faut seulement les lire (Chochon & al., 1999).

L'activation pariétale dans la comparaison est souvent plus prégnante dans l'HD que dans l'HG (Pinel et al, 2001 ; Chochon & al., 1999 ; Dehaene, 1996). Cette observation suggère que l'HD possède certainement un avantage sur l'HG en matière d'abstraction des relations numériques (Langdon & al., 1997 ; Rosselli & al., 1989).

Néanmoins il convient de relativiser, car malgré cette asymétrie observée, les deux hémisphères participent aux tâches de comparaison.

Des études paramétriques ont révélé que l'activation des hIPS était modulée par des paramètres sémantiques, tels que la grandeur absolue des nombres et leur valeur relative à un point de référence.

Ainsi, il apparaît que l'activité intra-pariétale est plus étendue et dure plus longtemps pour les opérations contenant de grands nombres (Kiefer & al., 1997 ; Stanesco-Cosson & al., 2000).

On remarque une spécificité relative et moindre de la région intra-pariétale pour le calcul mental. Cette région montre un effet d'amorçage inconscient (Dehaene & al., 2003).

5. Les interactions entre nombre, temps et espace

5.1. Ligne numérique et temps

5.1.1. Un continuum mental

L'homme détient cette capacité à se projeter dans le temps, dans le passé, le futur.

Le modèle logarithmique suggère que les événements vécus par l'homme sont organisés spatialement, le long d'une ligne temporelle mentale imaginaire.

On fait la supposition qu'il existe une correspondance entre les informations de la ligne temporelle et l'organisation spatiale des nombres le long d'une ligne mentale des nombres. Une telle configuration spatiale apparaît comme un fondement de la cognition.

Dans la culture occidentale, il est bien établi que les nombres se distribuent sur une ligne mentale numérique continue, orientée de droite à gauche. Cela suggère une représentation spatiale des nombres (Fisher, 2001).

Le traitement des nombres induit des biais de performance spatiale. On a constaté que lorsque l'on découpait une chaîne de nombres, constituée de petits chiffres, la bissection était déviée à gauche par rapport à la bissection des grands nombres.

La ligne numérique est compressée (de manière subjective). Il y a une compression à mesure que l'on progresse vers les grands nombres. Cela signifie que visuellement les petits nombres paraissent très proches les uns des autres et à l'inverse les grands nombres sont beaucoup plus espacés

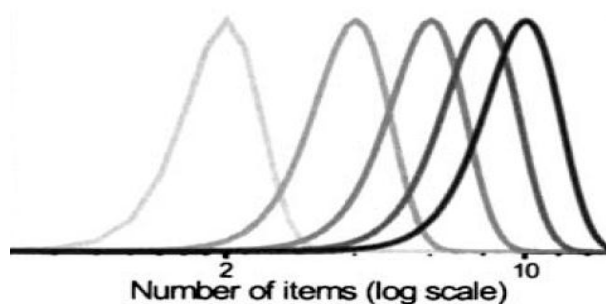


Figure 12 : Représentation schématique de la ligne numérique mentale avec compression logarithmique (D'après Nieder & Miller, 2003)

Pour accéder à la représentation sémantique du nombre, on active une position particulière du continuum mental. Ainsi, les nombres peuvent-ils exister en dehors de toute notation symbolique car, ils sont intériorisés sous la forme d'une ligne mentale

Des expériences ont démontré que dans des situations où les sujets sont amenés à apprécier la valeur (magnitude) d'un nombre par rapport à une référence, et qu'on leur conseille de s'imaginer une représentation linéaire, telle qu'une règle, l'association entre stimulus et réponse est orientée de gauche à droite. Toutefois, lorsque la représentation mentale est un cadran de montre, c'est le contraire qui se produit.

La ligne numérique mentale semble immuable, quels que soient les formats utilisés, arabes ou verbaux. Elle n'est pas non plus perturbée par la modalité sensorielle. La numérosité ne repose

pas sur une modalité particulière, au contraire, une stimulation présentée dans une modalité se répand aux autres modalités sensorielles.

L'idée d'une ligne numérique linéaire, qui semble si intuitive, peut être mise en défaut. C'est en réalité le fruit d'une invention culturelle et l'apprentissage se fait de manière progressive. Au contraire, la représentation des nombres dans l'espace se fait de façon logarithmique (Izard & al., 2008).

5.2. *Effets de taille et de distance numérique*

Ces deux phénomènes obéissent à la loi de Weber-Fechner.

Ces effets sont constatés systématiquement quelle que soit la modalité sensorielle dans laquelle apparaissent les stimuli à traiter (Barth & Spelke, 2003).

5.2.1. *Définitions*

L'effet de distance désigne la modulation des performances (vitesse et précision) en fonction de la distance numérique entre les nombres dans une tâche de comparaison numérique.

L'effet de taille renvoie à une diminution des performances quand on augmente la taille des nombres à traiter. Dans une tâche d'estimation numérique, la variabilité des estimations augmente linéairement avec la magnitude du nombre à estimer (Whalen, Gallistel & al., 1999).

5.2.2. *Les effets comportementaux classiques*

Des enfants souffrant de dyscalculie développementale ont été invités à comparer des nombres par rapport à un nombre référent. Dans un premier temps, ils devaient comparer un nombre compris entre 1 et 9 au nombre 5 et dans un deuxième temps, la comparaison portait sur des nombres plus conséquents, entre 10 et 99 par rapport à 55.

Dans le premier type de comparaison, les enfants dyscalculiques étaient comparables au groupe contrôle en terme de temps de réaction, mais commettaient plus d'erreurs. Dans le deuxième type de comparaison, les enfants dyscalculiques présentaient un effet de distance plus marqué que les contrôles.

De plus, ils étaient davantage influencés par la taille des nombres que les contrôles ne l'étaient. En supposant une représentation analogique des quantités, cela suggère que les quantités sont

moins différenciées chez les sujets dyscalculiques que chez les sujets tout-venants (Ashkenazi, Mark-Zigdon & al., 2009).

Dans le cas d'une comparaison avec des numéraux à un seul chiffre, plus les deux nombres sont éloignés, et plus le temps pour décider lequel des deux est le plus grand est court. Ceci a été décrit pour la première fois par Moyer et Landauer (1967).

Pour illustrer ce phénomène, prenons un exemple parlant : il faut plus de temps pour déterminer que 8 est plus grand que 6 que pour décider que 8 est plus grand que 1.

Moyer et Landauer (1967) ont établi que les individus convertissent les numéraux verbaux ou écrits en grandeurs analogiques. Les chiffres qui représentent une magnitude externe suscitent automatiquement une image interne de la magnitude, symbolisée par une ligne mentale (Dehaene, 1992). **Certains ont postulé que l'origine de l'effet de distance réside dans le chevauchement entre les représentations des nombres sur la ligne numérique mentale.** On constate un effet analogue pour les nombres à deux chiffres. Cependant, dans ce cas, l'influence de la distance numérique sur le temps de réaction peut être expliquée par de nombreux modèles de représentation du nombre. Selon le modèle analytique (Barrouillet, Camos & al., 2004 ; McCloskey, 1992), les composants (unité, dizaine) des nombres à deux chiffres sont traités séparément en fonction de l'organisation de base 10 des nombres. En revanche, le modèle holistique prédit que les nombres à deux chiffres sont considérés comme un tout, sans distinction entre les composants (Brysbart, 1995 ; Dehaene & al., 1990 ; Dehaene, 1989,1992). Selon le modèle holistique, les participants traitent la grandeur numérique d'un nombre à deux chiffres comme une entité homogène et la ligne numérique s'étend aux nombres à deux chiffres (10-99). Sekuler et Mierkiewicz (1977) ont observé que l'effet de distance était plus prégnant chez les jeunes enfants que chez les enfants plus âgés et chez les adultes dans les tâches de comparaison à un seul chiffre. Holloway et Ansari (2009) ont remarqué que **cette diminution de l'effet de distance numérique liée à l'âge avait pu être observée dans d'autres domaines tels que la comparaison des grandeurs physiques, la luminosité, la hauteur.**

L'analyse des TDR révèle qu'il augmente avec l'âge. A l'inverse, les taux d'erreurs ne sont pas modulés par l'âge.

5.3. *Le nombre et l'espace, l'espace des nombres*

« Les liens entre espace et nombre seraient le reflet d'une intuition fondamentale, universelle, façonnée au cours des millénaires par la sélection naturelle » (Izard & al., 2008).

5.3.1. *L'intuition d'une échelle spatiale des nombres : la synesthésie numérique*

5.3.1.1. *L'effet SNARC*

Le lien ténu entre la représentation des nombres et leur répartition particulière dans le plan spatial a été démontré à travers ce que l'on a baptisé : **l'effet SNARC** (Spatial Numerical Association of Response Codes). Ce phénomène témoigne d'une activation automatique de la représentation des nombres, dans la mesure où cet effet se manifeste indépendamment de la tâche entreprise. Cet effet postule que les petits nombres sont représentés davantage dans l'espace gauche alors que les grands nombres intéresseraient préférentiellement l'espace droit.

Les premiers à avoir démontré cet effet sont Dehaene, Bossini et al. en 1993, dans une tâche de jugement de parité. Ils ont été témoins du phénomène suivant : Les réponses étaient plus rapides à droite quand il fallait traiter de grands nombres, et étaient plus rapides à gauche quand cette fois-ci il s'agissait de petits nombres.

L'effet SNARC affecte la rapidité à laquelle la réponse est déclenchée, mais également le type de réponse sélectionnée (Daar & al., 2008).

L'humain semble disposer d'une représentation interne de l'espace. En effet, l'ensemble du domaine de la cognition spatiale rejoint l'idée selon laquelle nous parvenons à compter, à manipuler et construire les nombres sur la base de représentations mentales de l'espace. Des études suggèrent à ce propos, que les représentations spatiales combinées au traitement des nombres peuvent affecter de manière évidente les réponses visuo-motrices.

5.3.1.2. *Caractéristiques de l'effet SNARC*

- La latéralité ne semble pas affecter la direction de l'effet : il est semblable, qu'il s'agisse de droitiers ou de gauchers

- Il reste inchangé dans le cas où l'on croise les mains, car c'est l'espace qui prime.

- L'organisation spatiale des nombres pourrait être en partie influencée par l'apprentissage culturel, car l'effet semble s'inverser lorsque la lecture se fait de droite à gauche comme c'est le cas en Iran par exemple. (études de Zebian en 2005 et de Fisher et al., Dehaene et al. 1993).

- Il indique qu'il existe une association entre le continuum numérique et l'espace physique extracorporel
- Cet effet tend à diminuer voire est aboli, quand les numéraux arabes se composent de plusieurs chiffres ou lorsqu'il est question de numéraux verbaux écrits.
- Cet effet est fortement dépendant des nombres à comparer (taille dépendant). Un nombre peut être associé à une réponse gauche ou droite selon la taille de l'autre nombre =>13/17 (à droite), 17/23 (à gauche).

5.3.1.3. Résultats expérimentaux sur l'effet SNARC

- **L'effet apparaît chez l'enfant dès le CE2.** Cela coïncide avec le moment où se manifestent les premiers effets de l'automatisation du lien entre chiffres et quantité (Girelli, 2000).
- **Cet effet est spécifique aux nombres car l'on n'observe pas d'association automatique entre l'espace et les séquences ordinales et les lettres** (Dehaene & al., 1993 ; Fisher 2003 ; Zorzi, 2006 ; Casarotti, 2007).
- La taille absolue importe peu, c'est la taille relative des nombres qui compte, par rapport à l'intervalle testé (Dehaene & al., 1993).

5.3.1.4. Les sous-bassements du lien entre espace et nombre

C'est l'interaction entre les aires pariétales VIP et LIP qui serait responsable de cette association systématique entre nombres et espace. L'aire VIP et l'aire LIP entretiennent entre elles des connexions anatomiques directes et bidirectionnelles (Dehaene & al., 2003). En effet, le codage des nombres fait appel à une région intra-pariétale moyenne, proche de l'aire VIP et est connecté à des régions voisines qui codent l'espace. Les aires VIP et LIP sont engagées dans le mouvement des yeux et le codage des positions pertinentes de l'espace.

Trois circuits bien distincts se situant dans le lobe pariétal participeraient au traitement des nombres :

- Un des circuits est pris en charge par le segment horizontal du sulcus intra-pariétal (hIPS) de façon bilatérale. Cette région est garante d'une représentation non-verbale des quantités numériques et s'apparente à la ligne mentale. Ce circuit s'active uniquement pour les nombres (Dehaene & al., 2003).
 - Le second circuit concerne le gyrus angulaire gauche. Cette région joue un rôle non négligeable dans le langage (tâche de lecture et de MCT).
 - Le troisième circuit intéresse le lobule pariétal supérieur postérieur (LPSP) de façon bilatérale. L'activation de ce circuit n'est pas exclusivement réservée au traitement des nombres car d'autres tâches peuvent être concernées.
- ⇒ **Le traitement des nombres implique un certain nombre de représentations qui ne sont pas spécifiques au domaine des nombres** (représentations linguistiques et visuo-spatiales).

Chapitre 4 : Les troubles du calcul dans la maladie d'Alzheimer

I. Le calcul au carrefour de plusieurs fonctions cognitives

Le calcul ne fonctionne pas seul. Il est relié à une palette de fonctions cognitives qui s'influencent les unes les autres. En effet, **les compétences en calcul et traitement des nombres mettent en jeu une grande part des fonctions langagières, mnésiques, attentionnelles, visuo-spatiales et exécutives.**

« On sait aujourd'hui qu'effectuer des opérations simples nécessite la collaboration de nombreuses structures situées dans différentes régions du cerveau » (OCDE, 2007).

Certains auteurs ont d'ailleurs suggéré que dans certains cas on pouvait parler d'« acalculie secondaire » car les troubles du calcul mis en évidence, pouvaient survenir dans le cadre d'un faisceau d'autres troubles.

Afin de comprendre de quelle façon ces fonctions peuvent agir sur la cognition numérique ou bien en majorer l'atteinte, passons-les en revue.

1. La mémoire

Dans le cas de la cognition numérique, il est nécessaire d'avoir une mémoire verbale efficace pour encoder les informations délivrées, les stocker temporairement afin d'effectuer un traitement pour ensuite les restituer

La mémoire de travail, qui permet de stocker et manipuler de petites quantités d'informations pendant un bref laps de temps, est également perturbée très tôt dans la maladie d'Alzheimer. L'administrateur central, responsable de la distribution des ressources attentionnelles et de la coordination des autres systèmes de la mémoire de travail, est particulièrement sensible à la pathologie.

On peut faire référence au **transcodage qui nécessite de faire appel à la boucle phonologique, afin de rafraîchir l'information** (processus de récapitulation articulatoire).

La mémoire visuelle, quant à elle, est fortement tributaire de nos capacités attentionnelles.

2. Le langage

On s'appuie sur le langage pour toutes les tâches numériques.

Si on ne possède pas une bonne maîtrise de la chaîne numérique, l'ordre des « mots-nombres », alors on risque de commettre des erreurs lors du dénombrement (Gelman et Gallistel 1978). On peut difficilement comparer 2 numérosités si l'on ne connaît pas leur place respective dans la chaîne, où ils se situent l'un par rapport à l'autre.

« *Certaines études plaident pour l'existence de processus sous-jacents communs aux habiletés numériques et langagières* » (Glossa, n°118, 2010).

3. Les fonctions exécutives

Leur fonction est de permettre au sujet de s'adapter aux situations nouvelles, non éprouvées avant, lorsque les routines, les schémas, ne sont plus suffisants pour affronter la situation présente. Cela nécessitera alors un contrôle important (modèle de Miyake 1999).

Lorsqu'une personne est confrontée à un déficit des fonctions exécutives, on parlera de « syndrome dysexécutif » ou encore de « syndrome frontal ».

Les fonctions exécutives, incluent un certain nombre de composantes telles que, les **capacités de planification et d'organisation, d'abstraction, de prise de décision et jugement ou encore de flexibilité mentale.**

Un certain nombre d'études ont fait part de leurs résultats, indiquant que les fonctions exécutives ou les processus mentaux de haut niveau impliqués dans la réalisation d'une activité orientée vers un but, seraient très précocement altérées dans certains syndromes, dont la maladie d'Alzheimer. Ce serait même une caractéristique notable du tableau des déficits neuropsychologiques accompagnant habituellement la maladie. **Leur perturbation est souvent précoce, et peut se manifester à un stade pré-déméntiel.** En revanche, les auteurs nuancent leur propos en précisant que toutes ne sont pas affectées de la même façon.

Une dégradation des fonctions exécutives serait à mettre en lien avec une relative perte d'autonomie et des troubles du comportement.

Les principales composantes prises en charge par les fonctions exécutives :

- ⇒ **L'inhibition** : Il s'agit de la capacité à s'empêcher de produire une réponse automatique (résister aux interférences), à arrêter la production d'une réponse en cours. Il faut pouvoir faire abstraction des stimuli non pertinents pour se concentrer sur une tâche bien particulière.

⇒ **La flexibilité mentale** : Il s'agit de la capacité à passer alternativement d'une situation/consigne à une autre pour se conformer aux exigences de l'environnement.

Sorel et Pennequin (2007) ont démontré que dans le « début » du vieillissement cognitif normal, la flexibilité (évaluée par le Plus-Minus Test) était intacte, mais les performances étaient dégradées pour des participants plus âgés (au-dessus de 75 ans). Il semble donc que **la composante de flexibilité** soit une **fonction qui se dégrade plus lentement** que les deux autres dans le **vieillessement cognitif normal**, mais que la **maladie d'Alzheimer accélère cette détérioration**.

II. Calcul et maladie d'Alzheimer

1. La place des troubles du calcul au sein de la maladie d'Alzheimer

Contrairement aux troubles du langage, très bien documentés par la littérature et maintes fois explorés, les troubles du calcul sont étudiés de façon plus marginale, et n'ont reçu que peu d'attention.

Il est maintenant établi que dès le stade débutant de la maladie, apparaissent progressivement des troubles du calcul et du traitement des nombres.

Carlomagno et al. considèrent, après avoir mené une étude recherchant d'éventuels déficits en calcul chez les patients Alzheimer, que **les troubles du calcul constituent un des premiers signes de la démence de type Alzheimer**. Leur étude compare deux populations : 68 patients atteints de la maladie d'Alzheimer au stage léger (MMS>20 /30) et 242 sujets contrôles. Un protocole standardisé leur a été administré, visant à évaluer leurs aptitudes respectives pour le calcul et le traitement des nombres. Ce protocole a objectivé que 64 des 68 personnes testées, soit 94,1% des personnes Alzheimer, avaient des performances fortement abaissées et ce, à la fois sur le versant « calcul » et sur le versant « traitement des nombres ».

Deux études ont été conduites, afin de déceler une éventuelle corrélation entre des troubles du calcul et d'autres fonctions cognitives dont les principales sont : le langage, la mémoire,

l'attention et les fonctions visuo-spatiales. **Aucune relation significative n'a été relevée entre déficit en calcul et mémoire déficiente.**

Il est suggéré d'élargir l'échantillon de patients déments, afin de mieux entrevoir et caractériser les patterns des différents déficits en calcul. Néanmoins, il a déjà été observé des dissociations de performances entre calcul et langage. De même, il peut y avoir à l'intérieur même du système « calcul » des dissociations de performances entre différentes composantes (pôle compréhension et pôle expression).

Grafman et al. (1989), ont été les premiers à démontrer que la démence pouvait conduire à la détérioration sélective de certaines composantes du système de calcul.

D'autres études de cas (Pesenti & Seron 1994), ont approuvé l'idée selon laquelle il existerait une indépendance fonctionnelle des faits arithmétiques et des procédures. Elles suggèrent que **les aptitudes numériques pourraient être altérées à des degrés variables dans la démence** (organisation modulaire des capacités de calcul).

Il a par ailleurs été attesté, que les déficits en arithmétique sont un signe précurseur et un indicateur fiable annonçant une maladie d'Alzheimer débutante. Le dépistage pourrait faciliter le diagnostic clinique (Parlato & al 1992), (Carlomagno & al., 1999).

Deloche et al. (1995), ont formulé l'idée selon **laquelle les performances en calcul dans la maladie d'Alzheimer débutante étaient corrélées au MMSE et au langage mais pas à la mémoire.**

Carlomagno et al. (1999) ont rapporté que l'arithmétique était seulement corrélée avec les facultés exécutives et attentionnelles.

Mantovan et al. (1999) ont émis l'hypothèse selon laquelle les erreurs de procédure dans la résolution de calculs écrits, reflétaient les difficultés dans la supervision des algorithmes complexes.

Les erreurs de transcodage étaient quant à elles interprétées comme résultant d'une défaillance au niveau des mécanismes d'inhibition, (Tegner & Nybäck, 1990 ; Thioux & al., 1999) et d'une insuffisance des ressources attentionnelles (Kessler & Kalbe, 1996).

L'intérêt porté aux capacités numériques telles que le dénombrement, le subitizing ou la comparaison de nombres chez les Alzheimers est assez récent. Cependant, **investiguer les capacités numériques chez ces patients peut se révéler fort intéressant, car on peut prédire**

une moindre détérioration de ces compétences dans la mesure où ces « connaissances numériques élémentaires » sont plus ou moins innées et/ou acquises très précocement (Antell & Keating, 1983).

2. Numérosité et maladie d'Alzheimer

La numérosité est-elle sensible à la maladie d'Alzheimer ?

De nombreuses études s'accordent à dire que la capacité à estimer la numérosité d'un ensemble conséquent de points (30) s'estompe au décours de la maladie.

Elles révèlent à ce sujet que l'arrangement des points, leur disposition aurait une influence positive ou au contraire négative sur la perception. Ce constat est valable aussi bien chez les sujets contrôles que sur les sujets pathologiques (Delazer, 2006). Une différence significative a été démontrée pour les deux groupes quant à la capacité à dénombrer des points dans une configuration circulaire, mais pas pour les configurations linéaires.

Les deux groupes faisaient appel à des stratégies différentes.

- Les contrôles arrivaient à coordonner le dénombrement aux points,
- Les cliniques échouaient ou peinaient à s'adapter à l'organisation spatiale,

L'analyse des erreurs produites fait état de difficultés bien particulières :

- Une tendance à recompter des points déjà comptés au préalable, qui reflète une incapacité à s'arrêter,
- Des omissions de points qui témoignent d'une incapacité à contrôler ce qui a été déjà compté (administrateur central).

Ces constatations suggèrent que les fonctions exécutives normalement mis en jeu lors de cette tâche de dénombrement sont déficitaires, empêchant par là même de recourir à des stratégies efficaces.

Seron et ses collègues (1991) ont comparé une épreuve de dénombrement de points chez des patients aphasiques, dont le siège de la lésion était sur l'hémisphère droit, et des patients atteints de démence. Les analyses qualitatives ont porté sur le comportement et les stratégies mises en œuvre. On a pu mettre à jour des difficultés présentes chez les deux groupes mais des résultats qualitativement différents. Les patients aphasiques étaient davantage en difficulté pour produire la séquence de mots-nombres. En revanche, on se rend compte que les déficits étaient plus prononcés chez les patients déments que chez les patients aphasiques (respectivement 34, 5% et 14%).

On précise que ces erreurs n'étaient aucunement imputables à un déficit visuel ou verbal.

Quant aux stratégies choisies pour dénombrer, les patients déments semblent parvenir à appliquer de manière fréquente des stratégies d'appariement. Ils peuvent mettre en relation un mot-nombre avec un point.

Afin de définir si les patients atteints d'une démence de type Alzheimer (DTA) sont plus déficitaires que les sujets tout-venants concernant la numérosité, on leur propose différents types de configurations (aléatoire, en ligne, en cercle).

Les points sont de taille équivalente (8 mm) afin de ne pas induire de biais de perception.

Les sujets ont reçu la consigne de donner à chaque fois la numérosité de l'ensemble le plus vite et le plus précisément possible (contrainte temps-précision).

Les stratégies de comptage ont fait l'objet d'un classement (similaire au schéma proposé par Seron et al. 1991 « dot referral categories »).

- Contrôle, supervision oculaire
- Pointage digital de chaque élément
- En regroupant les points qui sont proches les uns des autres
- En laissant un doigt sur un point (temporairement)
- En recomptant tout ou bien une partie des points

Pour une analyse plus fine, on a noté le comportement que pouvait avoir le sujet au moment de la tâche de dénombrement (comptage oral, digital, calcul oral).

On a ainsi pu observer **des erreurs de sur-comptage**, le cardinal énoncé était supérieur au nombre cible ou bien **des omissions**.

Ces types d'erreurs étaient significativement plus présents chez les patients que chez les contrôles pour les patterns non-structurés.

Les deux groupes faisaient preuve d'une **stratégie commune : le comptage verbalisé**.

Discussion : Des études bien documentées ont mis en évidence qu'il était tout à fait possible pour des personnes DAT d'appréhender justement de petites numérosités (Halpern & al., 2003 ; Kaufman & al., 2002) mais qu'elles se trouvaient en difficulté lors de numérosités plus étendues (Seron & al., 1991).

On a remarqué que les patients différaient des contrôles en ce qui concerne la précision et le type d'erreurs mais également dans les stratégies mises en jeu.

Les configurations influencent de manière non négligeable les sujets : les patterns non-structurés sont moins bien réussis que les patterns en cercle, et ce, à la fois chez les patients et chez les contrôles.

On retrouve la tendance suivante pour les deux groupes en matière de réussite selon le type de configuration : **non structuré < cercle < en ligne.**

3. Maladie d'Alzheimer et l'activité de transcodage numérique

3.1. Les erreurs relevées

Certains auteurs rapportent que les patients atteints de la maladie d'Alzheimer expriment très souvent **les informations numériques dans une forme hybride : mélange de code verbal et de code arabe** (Della sala 2000).

Kessler et Kalbe (1996) postulent que ce type d'intrusion du code source dans le code cible est non seulement absent des productions (réponses) de la population contrôle mais également des réponses de patients souffrant d'un autre type de lésion cérébrale telle que l'aphasie. **Ce type de phénomène serait donc spécifique à la maladie d'Alzheimer.**

Un faisceau d'éléments suggèrent que l'acalculie émerge dans les premiers temps de la maladie. Certaines tâches de transcodage pourraient même permettre de dépister précocement la maladie. Noel et Seron font état d'une étude de cas unique d'un patient qui présente comme caractéristique de produire des zéros surnuméraires dans le transcodage des nombres arabes vers la forme verbale correspondante et vice versa.

Exemple : **5031** donne lieu à la réponse « **cinq mille zéro trente et un** »

A l'inverse, dans la situation où le patient devait transposer un nombre verbal en un nombre arabe, il écrivait « **trois mille sept cent un** » => **3000701.**

Ce type d'erreur s'apparente aux erreurs de syntaxe. Ce patient lexicalise le nombre et note exactement ce qu'il entend.

En marge de ces erreurs récurrentes, d'autres ont été observées.

Tegner et Nybäck ont demandé à 13 patients de passer du code arabe au code verbal écrit. Les auteurs ont alors pu mettre en évidence que le code arabe était introduit dans le code verbal écrit.

Exemple : **43** était transcodé **quarante 3**. 11 patients interrogés avaient agi comme tel.

Suite à ces constatations, Tegner et Nybäck ont annoncé que le transcodage était un marqueur de la maladie.

Cependant, ils s'accordent sur le fait qu'il faille se garder d'interprétations hâtives, car des erreurs d'intrusions occasionnelles ont été rapportées chez des patients avec une lésion focale.

Il n'est pas aisé de définir précisément les erreurs observées car les différents chercheurs ont eu recours à des classifications qui diffèrent.

Quelquefois, les patients réécrivent le code source qui vient d'être énoncé au lieu de changer de code. Ceci s'apparente alors à de la **copie servile**.

Ce type de comportement peut être le signe de persévérations, d'un défaut de mise à jour.

Exemple : 3436 => 3436

Les intrusions et les persévérations auraient vraisemblablement une origine commune.

On a remarqué que les erreurs d'intrusions étaient commises lorsque les patients devaient transcoder dans les 2 sens, de façon bi-directionnelle.

3.2. *Les différentes erreurs dans les tâches de transcodage*

Tâches avec stimulus oral

⇒ **Dictée de nombres avec une réponse en numéral arabe**

3.2.1. *Les erreurs de type « aphasique »*

Kessler et Kalbe ont prouvé dans leur étude, qu'il n'existe pas de différence significative concernant les intrusions faites lors du transcodage. Elles se manifestent indifféremment dans le transcodage de nombres arabes vers les nombres verbaux et vice versa.

Les persévérations quant à elles, montrent les mêmes incidences dans les deux patterns, les différences obtenues n'étant pas significatives.

3.2.2. *Les erreurs de transcodage avec stimuli sur entrée verbale ou écrite*

Une **différence significative de nombre d'erreurs d'intrusion** a pu être démontrée entre un **input oral** et un **input écrit**. On constate la **même tendance en ce qui concerne les persévérations**.

On a aussi pris en compte le fait que le stimulus peut-être maintenu à la vue du patient ou au contraire retiré après qu'il l'eût regardé. Les résultats attestent d'une différence significative. En effet, on peut établir une corrélation robuste entre intrusion et stimulus permanent. C'est-à-dire qu'on remarque un taux moindre d'intrusions quand le patient n'est plus en perception du

stimulus. Au contraire, les risques d'intrusions sont majorés lorsque le patient est confronté de façon permanente au stimulus.

Le pattern inverse est décrit pour les persévérations.

3.2.3. *Autres types d'erreurs*

12 patients sur un total de **20** commettent des erreurs de type syntaxique alors que seulement **3** font des erreurs de type lexical.

8 patients sur **20** font aussi des erreurs de type « aphasique ».

9 patients sur **20** font des erreurs qui découlent d'une mémoire à court terme non performante (oubli du dernier chiffre).

3.3. *La relation avec la sévérité*

Kessler et Kalbe affirment que l'incidence des erreurs de type « défaut de mise à jour » n'est absolument pas corrélée avec la performance obtenue au MMSE.

L'étude ne trouve pas non plus de corrélation positive entre le taux d'intrusion et la sévérité de l'affection (échelle MODA).

Tous ces résultats s'accordent à dire que :

- les intrusions n'interviennent que quand la maladie a déjà atteint un degré élevé de sévérité.
- Il existe une corrélation significative entre l'incidence des persévérations et la sévérité à l'échelle MODA.

Certains auteurs, à l'image de Kessler et Kalbe, regroupent les intrusions et les persévérations dans une même catégorie d'erreurs et les combinent dans leurs analyses statistiques sous la même appellation « modifications lexicales ».

Thioux et al. suggèrent que les modifications lexicales peuvent constituer un marqueur précoce et caractéristique de la maladie d'Alzheimer.

Les résultats confirment en tout cas que certains patients Alzheimer font des erreurs d'intrusion de façon plus fréquente que dans la population saine et parmi les personnes souffrant d'une lésion focale.

Le fait que certaines personnes Alzheimer ne commettent aucune erreur prouve, que la procédure de transcodage n'est pas toujours affectée. Il faut donc rester prudent et veiller à ne pas généraliser ces résultats à toute la population Alzheimer.

L'occurrence des erreurs d'intrusion est considérée par certains comme étant un moyen de distinguer les patients Alzheimer d'une autre démence.

A l'heure actuelle, on n'a toujours pas résolu la question selon laquelle les Alzheimers sont davantage sujets aux intrusions que les patients avec une lésion cérébrale.

Tegner et Nybäck soulignent que les intrusions surviennent parce que les patients Alzheimer ne peuvent pas se concentrer pleinement sur une tâche. Le code arabe supposé plus automatisé et plus utilisé que le code verbal prend le dessus sur ce dernier car il est plus prégnant.

Kessler et Kalbe (1996) infèrent que l'origine des erreurs d'intrusion provient d'une faille dans le système superviseur attentionnel (SAS) en insistant sur le fait que les erreurs de « mises à jour » sont typiques de ce qu'on retrouve chez les patients frontaux.

Cette explication satisfait pour ce qui concerne les persévérations mais n'est pas recevable pour rendre compte des intrusions.

Partie pratique

Problématique et hypothèses de travail

Ce mémoire poursuit l'objectif suivant :

La validation de l'outil d'évaluation analytique ECAN auprès d'une population de 49 patients Alzheimers.

Peu d'études se sont consacrées aux troubles du calcul observés chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer, la cognition numérique ayant été plutôt négligée et n'ayant pas profité des mêmes recherches que sur l'aphasiologie.

Et pourtant, il est communément admis que ce trouble fait partie intégrante de la maladie. D'aucuns arguent même qu'il s'agit là d'un signe précoce de la maladie. C'est pourquoi nous nous proposons de vérifier la sensibilité de cette batterie auprès de la population Alzheimer.

Notre outil bénéficie des avancées théoriques en la matière, et notamment du modèle du triple code de Dehaene. Il s'agit d'un outil récent, à la fois standardisé et normalisé sur un échantillon important de sujets contrôles.

Cet outil a la particularité de couvrir tous les domaines de la cognition numérique et d'explorer les diverses composantes du traitement numérique.

Notre étude se limitera volontairement à l'analyse de la numérosité et du transcodage.

Notre démarche se veut double :

- Prendre en compte les données quantitatives qui nous permettent d'établir si les personnes Alzheimer présentent des troubles du traitement des nombres et de la numérosité et dans quelles proportions,
- Procéder à une analyse qualitative en transcodage pour mettre en évidence d'éventuelles dissociations entre les différentes modalités et spécifier les différents types d'erreurs rencontrées.

En outre, nous prendrons en compte le temps de réalisation pour chaque épreuve. Ceci constitue une nouveauté par rapport aux batteries existantes et se révèle être un élément précieux pour affiner l'évaluation.

De cette problématique découlent plusieurs hypothèses que cette étude se proposera d'évaluer :

Hypothèse 1 :

Nous postulons une différence entre les sujets témoins et les patients en terme de score (performance) et de temps (vitesse de traitement), et ce pour les deux domaines (numérosité et transcodage).

Hypothèse 2 :

Certaines épreuves semblent plus échouées que d'autres.

Hypothèse 3

Il existe un lien entre sévérité de la maladie (MMS) et performance.

Hypothèse 4:

Les différents aspects du transcodage sont corrélés.

Hypothèse 5 :

Les erreurs se distribuent différemment en fonction des types de transcodage.

I. Description de la population

1. Présentation de la population Alzheimer

1.1. Critères de sélection propres aux patients

Pour le recrutement de notre population cible, nous avons retenu certains critères d'inclusion / exclusion.

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Avoir été diagnostiqué Alzheimer
- Etre âgé de 18 ans ou plus
- Etre consentant
- Etre francophone

Les critères d'exclusion sont les suivants :

- Avoir des antécédents neurologiques
- Avoir des antécédents psychiatriques
- Avoir des antécédents de troubles développementaux
- Avoir des troubles sensoriels trop invalidants (auditifs et/ou visuels)
- Avoir des troubles attentionnels trop prégnants

1.2. Caractéristiques démographiques

Trois variables démographiques ont été retenues

- **Le sexe**
- **L'âge : Les sujets se répartissent dans 4 classes d'âge**
 - 18-39 ans (classe 1)
 - 40-54 ans (classe 2)
 - 55-69 ans (classe 3)
 - 70 ans et plus (classe 4)

- **Le niveau socio-culturel qui se décline en trois niveaux :**
 - **Niveau 1** : ouvrier qualifié et non qualifié (absence de diplôme ou Certificat d'études ou Brevet des collèges ou CAP ou BEP)
 - **Niveau 2** : employé, technicien, profession intermédiaire (Baccalauréat professionnel ou Baccalauréat général ou diplôme Baccalauréat + 2 ans d'études)
 - **Niveau 3** : ingénieurs, cadres (avec diplôme correspondant au baccalauréat + de 3 ans d'études).

Pour compléter ces variables déjà mentionnées, nous avons ajouté la **profession exercée, le score au MMSE et la latéralité** de chaque participant.

Seule la variable : tranche d'âge sera étudiée de manière statistique, le sexe et le niveau socio-culturel sont uniquement des variables descriptives.

La cohorte se compose de **49 sujets : 14 hommes et 35 femmes.**

- La moyenne d'âge des patients est de **83,37**, le plus jeune ayant **71 ans** et le plus âgé ayant **92 ans**.
- Le score moyen au MMS est de **19,71** avec un minimum de **5** et un maximum de **29**.

Nous avons été contraints d'écarter quelques sujets de notre étude pour des raisons diverses :

- Problèmes visuels de type DMLA trop invalidants,
- Passations très incomplètes ne pouvant faire l'objet d'une interprétation statistique.

La répartition de l'échantillon étudié n'est pas homogène.

En effet, les différents NSC ne sont pas représentés de manière équivalente car le NSC1 est le plus représenté alors que le NSC2 est moins représenté et le NSC3 est en sous-effectif. La proportion d'hommes et de femmes n'est pas la même car il y a plus de femmes. Cette distribution en fonction du sexe reflète une réalité : la prévalence de la démence de type Alzheimer chez les femmes augmente après 70 ans (Dartigues et al., 2002).

2. Présentation de la population témoin

2.1. Critères de sélection

Les critères d'inclusion / exclusion sont conformes à ce qui est énoncé dans le GREFEX.

2.2. Caractéristiques démographiques

Les caractéristiques démographiques des sujets témoins sont analogues à celles décrites précédemment pour les patients, à savoir le sexe, l'âge et le niveau socio-culturel.

Nous avons retenu dans notre base de données de 423 témoins **89 sujets témoins**. Ceux-ci appartiennent tous au **groupe d'âge 4** (> à 70 ans) L'échantillon se compose de **46 hommes** et **43 femmes**. Ces sujets témoins sont donc appariés en âge aux sujets patients, et constitueront une référence (norme) pour pouvoir analyser les résultats des patients.

La répartition de l'échantillon étudié n'est pas homogène.

Le NSC1 est davantage représenté par rapport aux NSC2 et NSC3.

II. La méthode

1. Procédure de recrutement

Nous avons cherché des hôpitaux, des maisons de retraite ou bien des cabinets libéraux susceptibles de nous accueillir dans leurs locaux, et nous autorisant à faire passer le protocole d'évaluation.

Nous sommes plusieurs groupes à travailler sur le sujet : **troubles du calcul dans la maladie d'Alzheimer** (3 groupes) et à faire passer le même protocole d'évaluation (ECAN) mais en traitant d'aspects différents. Ainsi, notre maître de mémoire Mr Auzou nous a suggéré de mutualiser nos passations respectives afin d'obtenir un échantillon plus dense.

2. Conditions et procédure de passation

Nous avons mis un point d'honneur à ce que chaque passation individuelle se déroule dans les meilleures conditions de travail possible. Un environnement calme était donc nécessaire pour garantir le maximum de concentration.

Les passations se sont déroulées le plus souvent en milieu hospitalier, gériatrique mais également quand cela était possible au cabinet d'orthophonie sous la tutelle de l'orthophoniste ou bien directement au domicile du patient.

Les passations se sont étalées dans le temps car elles ont eu lieu de façon générale entre septembre 2012 et mars 2013.

La durée moyenne de passation est variable et dépend aussi de la manière dont le protocole a été administré. En effet, pour certains patients l'intégralité de la batterie d'épreuves a pu être réalisée en une fois. En revanche pour d'autres, il a fallu scinder le protocole en deux car cela s'avérait trop contraignant et fatiguant pour les patients.

En outre, quelquefois il s'est révélé nécessaire d'aménager l'ordre des passations en ne respectant pas strictement la succession des épreuves. Ce remaniement a permis d'alterner entre les épreuves plus faciles pour le patient et celles qui lui demandaient un effort particulier.

Avant de débiter la passation, chaque sujet devait renseigner certaines informations personnelles et administratives afin de constituer un profil.

Nous avons par ailleurs pris le soin d'expliquer aux sujets que ces données resteraient confidentielles, et serviraient uniquement dans le cadre de cette étude.

Enfin, nous leur avons expliqué la visée de notre travail et l'enjeu pour la recherche. Nous avons mis en avant leur contribution à notre projet dans le but de valoriser leur participation.

3. Le matériel d'investigation

A. Le MMSE

Le Mini Mental State Examination, baptisé aussi **test de Folstein** est un test qui permet d'évaluer les fonctions cognitives d'une personne.

Le test se compose de 30 questions qui permettent d'explorer un certain nombre de domaines tels que l'orientation dans l'espace / temps, les facultés d'attention, de calcul, les capacités de langage, les praxies de type constructives ou encore la capacité mnésique.

Le seuil de 24 points permet de situer le début d'une démence selon les recommandations de L'HAS.

B. 2 épreuves neuropsychologiques

Quelquefois, nous avons administré deux épreuves supplémentaires avant de débiter l'ECAN.

Le Trail Making Test (TMT): Cette épreuve teste les capacités de flexibilité mentale des patients.

Cette épreuve est constituée de deux parties (A et B) et implique aussi des habiletés visuo-motrices car il faut déplacer son regard (exploration visuelle).

Dans la partie A, le sujet doit relier avec un crayon tous les nombres de 1 à 25, et ce dans l'ordre croissant.

Dans la partie B, le sujet doit relier alternativement un nombre à une lettre de manière croissante. Cela doit se faire le plus vite possible et sans lever le crayon

Empans endroits-envers : Cette épreuve teste les capacités de rétention des patients.

Le sujet doit dans un premier temps répéter les séquences de chiffres qu'on lui donne à l'endroit, puis dans un deuxième temps il doit les rappeler à rebours.

La longueur des items est croissante (de 2 à 9 chiffres).

L'empan endroit teste la mémoire à court terme alors que l'empan envers teste la mémoire de travail verbale.

C. L'ECAN

a. *Présentation et finalité*

Cette batterie de tests permet d'examiner finement les compétences numériques et arithmétiques grâce à une grande diversité de tâches explorant ces domaines. L'ECAN reprend un certain nombre d'épreuves issues d'outils déjà existants et éprouvés tel que le Test Lillois de Calcul (TLC2) (élaboré en 2004).

b. *Matériel utilisé*

Pour réaliser les passations, 6 éléments ont été nécessaires :

- **Le livret de passation** qui compulse toutes les épreuves (*certaines épreuves en annexe*),
- **Un cahier examinateur** sur lequel sont inscrites les consignes de passation et qui permet de noter les scores obtenus, le temps de réalisation et les éventuels commentaires permettant d'étayer les résultats,
- **Le cahier patient** destiné au recueil des productions écrites du patient (ex : pour le transcodage) (*en annexe*),
- **Un guide d'utilisation** auquel se rapporter pour faire passer correctement la passation et qui précise les règles de cotation (*en annexe*),
- **Un sachet de 50 jetons**,
- **Un chronomètre** pour noter les temps de réalisation.

c. Principes de cotation

Dans les tableaux de cotation présentés pour chaque épreuve, l'examineur choisit sa notation pour désigner une réponse correcte, et indique ce qui est produit à la place de la réponse attendue en cas d'erreur. Chaque item réussi donne lui à 1 point, s'il est échoué on met 0.

Même après plusieurs échecs consécutifs aux items, le patient est incité à continuer. Cependant, on peut interrompre l'exercice s'il s'avère trop coûteux pour le patient, si cela peut le mettre en échec et compromettre le reste de l'évaluation.

Le patient a le droit de s'auto-corriger (AC) et c'est sa dernière réponse que l'on comptabilise.

Il n'y a qu'une épreuve par feuille, afin de faciliter l'exploration visuo-spatiale et de limiter les distracteurs non contrôlés.

d. Structure de L'ECAN

L'outil permet de balayer quatre domaines grâce à de multiples tâches qui le composent (36 tâches). La répartition se fait de cette manière :

- **La connaissance des nombres :**
 - Comptage oral
 - Dénombrement
 - Compréhension des nombres
 - Jugement de parité
 - Jugement de grandeur
 - Placement d'un nombre arabe sur une échelle

- **Les différentes formes de transcodage :**
 - Lecture à voix haute de nombres arabes
 - Lecture à voix haute de numéraux verbaux écrits
 - Ecriture sous dictée de nombres arabes
 - Ecriture sous dictée de numéraux verbaux écrits
 - Ecriture de numéraux verbaux écrits à partir de nombres arabes
 - Ecriture de nombres arabes à partir de numéraux verbaux écrits.
 - Production de numéraux arabes à partir d'un schéma de jetons
 - Etablissement d'un schéma de jetons correspondant à un nombre écrit en chiffre arabe.

- **Le calcul :**
 - Calcul mental sur les faits arithmétiques et sur les règles
 - Calcul mental
 - Calcul écrit
 - Calcul exact à choix multiples
 - Calcul approximatif à choix multiples
 - Etude des principes arithmétiques
 - Résolution de problèmes simples

- **La connaissance usuelle des nombres :**
 - Connaissances sémantiques des nombres
 - Jugement de grandeur contextuelle
 - Horloges

Seules les deux premières sections (la connaissance des nombres = numérosité et les différentes formes de transcodage) seront abordées dans notre mémoire.

e. Description des épreuves

Les consignes pour chaque épreuve peuvent être répétées si nécessaire.

Les consignes sont détaillées dans la partie **Annexe 1**.

La description complète et détaillée des épreuves de transcodage se trouve en **Annexe 2**

4. Organisation du recueil de données

Les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SPSS17 du Dr Auzou.

Les tests statistiques s'appuient sur des données issues d'échantillons. Ces échantillons sont censés être représentatifs de la population (sélection de quelques sujets parmi une population cible).

Les résultats obtenus sur nos échantillons permettent d'inférer des conclusions à l'ensemble de la population concernée.

Pour l'hypothèse 1 :

Les valeurs des moyennes et écarts types dans les groupes de patients et de témoins seront présentées.

La recherche de différences significatives a été faite avec un test non paramétrique (test U de Mann et Whitney).

Normalement on retient comme significatif un seuil de 0,05, c'est-à-dire qu'on prend 5% de risque de se tromper. Toutefois, comme on fait des comparaisons multiples, on préfère prendre comme seuil 0,001 (correction de Bonferroni qui consiste à diviser le seuil de 0,05 par le nombre de comparaisons).

Cependant nous accepterons d'autres seuils qui sont notés ainsi :

- $P > 0,05$: **non significatif**
- $P < 0,05$ mais $> 0,01$: **significatif***
- $P < 0,01$ mais $> 0,001$: **fortement significatif****
- $P < 0,001$: **très fortement significatif*****

Pour l'hypothèse 2 :

Nous présenterons des valeurs de déviance de la moyenne des patients par rapport aux témoins. La déviance sera exprimée en Z-score (distribution centrée-réduite), obtenu en calculant la moyenne des témoins – la moyenne des patients ÷ E.T. Nous prendrons toujours la valeur absolue. Nous ferons une analyse des Z-scores.

Pour l'hypothèse 3 :

L'ensemble des variables sera corrélée au MMS. Il s'agit d'une corrélation de Pearson.

Pour l'hypothèse 4 :

Nous ferons des corrélations deux à deux pour l'ensemble des épreuves, en utilisant une corrélation bi-variée de Pearson.

Pour l'hypothèse 5 :

Nous avons défini 5 types d'erreurs. Nous indiquerons dans un histogramme la répartition globale des erreurs, puis nous nous pencherons de façon plus spécifique sur chacun des 8 transcodages (sous forme de camemberts).

Analyse des Résultats

Rappel des différentes épreuves de transcodage et des abréviations

Exercice	Code source	Code de destination
B1	Numéral arabe	Numéral verbal oral
B2	Numéral verbal écrit	Numéral verbal oral
B3	Numéral verbal oral	numéral arabe
B4	Numéral verbal oral	Numéral verbal écrit
B5	Numéral arabe	Numéral verbal écrit
B6	Numéral verbal écrit	Numéral arabe
B7	Code analogique	Numéral arabe
B8	Numéral arabe	Code analogique

NA :	Numéral arabe
NVE :	Numéral verbal écrit
NVO :	Numéral verbal oral
CA :	Code analogique

1. Différence patients témoins

1.1. En transcodage

SCORES

		Témoins			Patients				
max.		Nombre	Moyenne	ET	Nombre	Moyenne	ET	Note Z	p
B1	20	86	19,85	0,392	46	19,26	1,421	1,5	n,s
B2	20	86	19,9	0,344	46	19,5	0,753	1,2	***
B3	20	83	19,88	0,363	45	18,64	3,192	3,4	***
B4	20	83	19,65	0,956	44	17,64	3,846	2,1	***
B5	10	85	9,88	0,324	44	9,18	1,742	2,2	n,s
B6	10	86	9,8	0,505	42	8,82	1,846	1,9	***
B7	10	86	9,56	0,761	42	8,21	2,125	1,8	***
B8	10	85	9,89	0,31	42	8,71	1,812	3,8	***

Tableau 1 : valeur des moyennes et écarts types en score, pour les témoins et les patients, aux épreuves de transcodage

Au vu des résultats, on observe que tous les types de transcodage sont très significativement touchés, excepté les transcodages allant de la **modalité arabe vers la modalité verbale orale** (B1), ainsi que les transcodages allant de la **modalité arabe vers la modalité verbale écrite** (B5).

TEMPS

		Témoins			Patients				
max.		Nombre	Moyenne	ET	Nombre	Moyenne	ET	Note Z	p
B1	20	86	20,45	5,057	46	31,65	11,55	2,2	***
B2	20	86	28,81	7,952	46	43,93	15,6	1,9	***
B3	20	83	64,1	17,8	45	127,09	68,05	3,5	***
B4	20	83	190,7	44,49	44	334,91	135,8	3,03	***
B5	10	85	68,04	20,78	44	125,89	59,21	2,78	***
B6	10	86	30,52	11,63	42	72,12	49,89	3,6	***
B7	10	86	62,73	21,35	42	161,33	80,54	4,6	***
B8	10	85	95,32	31,97	42	191,45	85,03	3	***

Tableau 2 : Valeur des moyennes et écarts types en temps, pour les témoins et les patients, aux épreuves de transcodage

Au contraire, tous les temps de réalisation sans exception sont chutés de façon très fortement significative comparativement à ceux des témoins.

1.2. En numérosité

SCORES	max.	Témoins			Patients			p
		Nombre	Moyenne	ET	Nombre	Moyenne	ET	
NOMBRES								
A1. Comptage oral (CO)	20	86	19,83	0,8	49	18,14	2,872	*
A1a. CO endroit	5	86	5	0	49	4,9	0,714	n.s.
A1b. CO rebours	5	85	5	0	49	4,73	1,036	n.s.
A1c. CO endroit de 2 en 2	5	86	4,91	0,587	49	4,61	1,222	n.s.
A1d. CO rebours de 3 en 3	5	86	4,98	0,152	49	4,02	1,774	*
A2. Dénombrement	10	86	9,78	0,562	48	9,21	1,473	n.s.
A3a. Désignation de NA	10	86	9,65	0,609	48	9,15	1,167	n.s.
A3b. Désignation de NVE	10	86	9,48	0,698	48	9,06	1,278	n.s.
A4. Jugement de parité	10	85	9,86	0,639	46	9,41	1,185	*
A5a. Jugement de grandeur entre NA	20	86	19,62	0,689	48	19,35	1,176	n.s.
A5b. Jugement de grandeur entre NVE	20	86	18,73	1,278	47	16,94	2,399	*
A5c. Jugement de grandeur entre NVO	20	86	19,63	0,798	46	18,26	1,807	*
A6. Placement de numéraux arabes sur une échelle	10	86	9,4	0,898	45	6,69	2,61	*

Tableau 3 : Valeur des moyennes et écarts types en score, pour les patients et les témoins, aux épreuves de numérosité

Au vu des résultats, on peut conclure que les scores en numérosité ne sont globalement que peu significativement chutés. En effet, La différence entre témoins et patients est peu significative pour **6 épreuves sur 13**.

TEMPS	max.	Témoins			Patients			Note Z	p
		Nombre	Moyenne	ET	Nombre	Moyenne	ET		
A1	20	86	16,26	6,132	49	31,1	23,426	2,5	***
A2	10	86	43,78	12,14	48	70,54	26,643	2,3	***
A3a	10	83	31,39	7,173	48	63,29	59,842	4,7	***
A3b	10	83	50,13	15,251	48	101,77	68,056	3,5	***
A4	10	85	21,08	11,677	46	35,2	20,847	1,4	***
A5	20	86	54,04	13,726	48	90,94	42,286	2,7	***
A5b	20	86	98,33	29,959	47	166,81	63,03	2,4	***
A5c	20	85	85,55	18,85	46	122,69	40,422	2	***
A6	10	86	52,91	22,774	45	125,3	77,113	3,3	***

Tableau 4 : Valeur des moyennes et écarts types en temps, pour les témoins et les patients, aux épreuves de numérosité

A l'inverse, les temps de réalisation des épreuves sont très significativement en deçà de la moyenne des témoins. Les patients Alzheimer ont donc besoin de plus de temps pour réaliser chaque épreuve.

L'épreuve qui semble mettre le plus en difficulté les patients est l'épreuve de désignation de nombres arabes (-4,7 ET). Cela peut être en partie dû au fait qu'il faille s'organiser dans l'espace feuille (composante visuo-spatiale) et inhiber les distracteurs (exemple : 5021 et 50021).

On retient donc des différences marquées entre les patients et les témoins, en score et plus particulièrement encore en temps, et ce, principalement pour la modalité transcodage.

2. Profil des perturbations

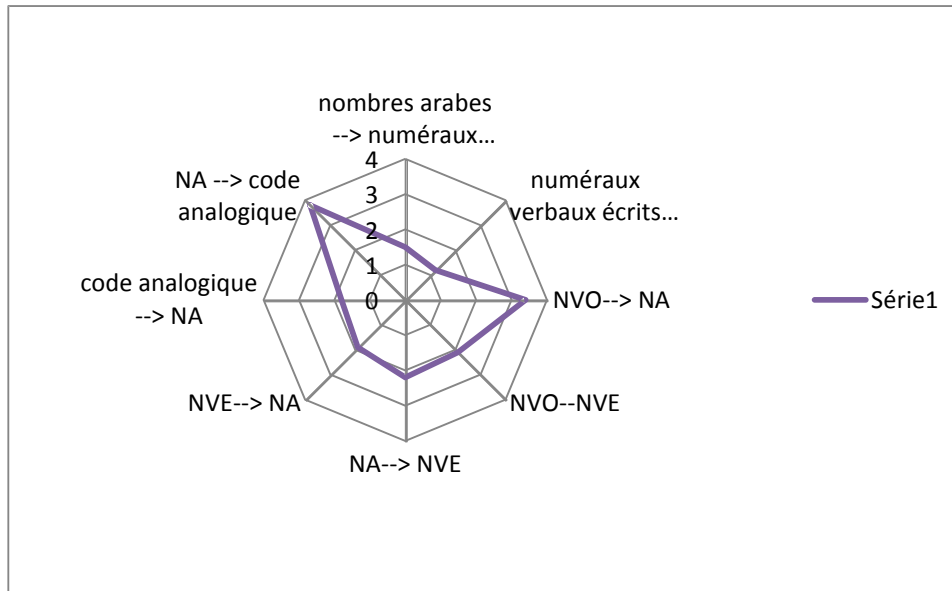
2.1. En Transcodage

	Moyenne des témoins	Moyenne des Patients	Ecart type témoins	Note Z - score
B1	19,85	19,26	0,392	1,5
B2	19,9	19,5	0,344	1,2
B3	19,88	18,64	0,363	3,4
B4	19,65	17,64	0,956	2,1
B5	9,88	9,18	0,324	2,2
B6	9,8	8,82	0,505	1,9
B7	9,56	8,21	0,761	1,8
B8	9,89	8,71	0,31	3,8

Tableau 5 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de transcodage

La plupart des épreuves ont une déviation se situant entre 1 et 2 ET.

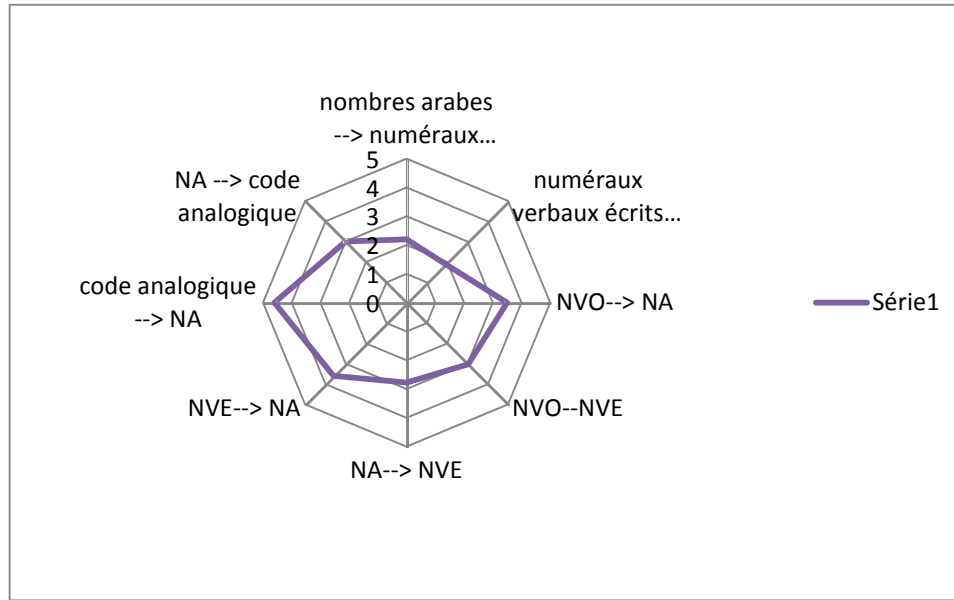
On note une **forte dissociation** concernant l'épreuve impliquant le **code analogique et les nombres arabes** (B8), ainsi que l'épreuve de **transcodage depuis des numéraux verbaux oraux vers des numéraux arabes** (B3), celles-ci se situant au-dessus de 3 ET.



Graphique 1 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de transcodage, représentés sous forme de radar

	Moyenne des témoins	Moyenne des Patients	Ecart type témoin	Note Z- temps
B1	20,45	31,65	5,057	2,2
B2	28,81	43,93	7,952	1,9
B3	64,1	127,09	17,801	3,5
B4	190,7	334,91	44,487	3,03
B5	68,04	125,89	20,783	2,78
B6	30,52	72,12	11,63	3,6
B7	62,73	161,33	21,35	4,6
B8	95,32	191,45	31,971	3

Tableau 6 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de transcodage



Graphique 2 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de numérosité, représentés sous la forme d'un radar

On observe la même **dissociation entre modalités**, concernant le transcoding **depuis un numéral verbal oral vers un nombre arabe**.

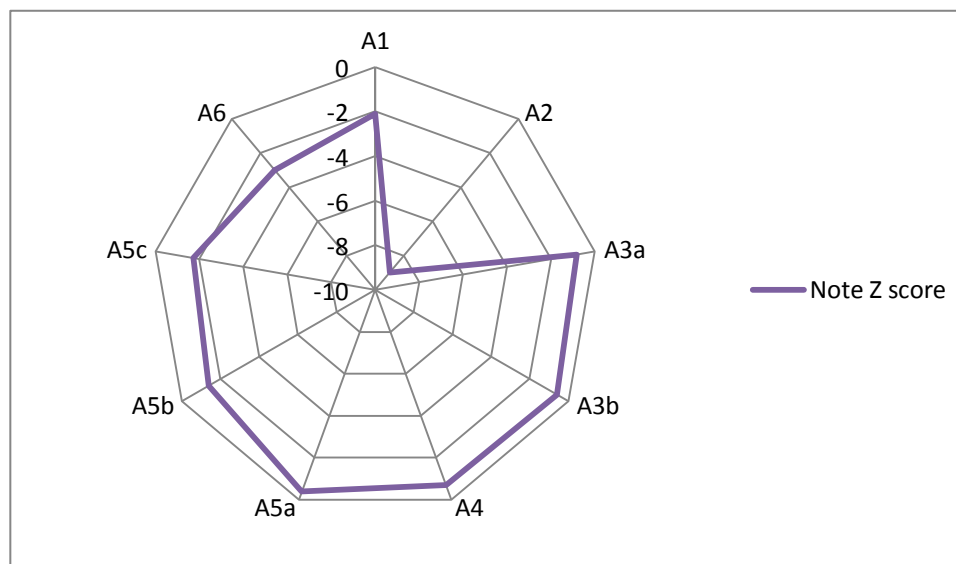
Par contre, même si le transcoding impliquant le **code analogique** ressort comme fortement ralenti, montrant ainsi une **dissociation par rapport aux autres épreuves**, cette dissociation n'a plus lieu du nombre arabe vers le code analogique comme c'était le cas pour les scores, mais **depuis le code analogique vers le nombre arabe**.

Cette dissociation pourrait se justifier par le fait que pour avoir les meilleurs résultats possibles, il faut une ressource cognitive telle, qu'elle entraîne un fort ralentissement. Ces résultats très abaissés pourraient également être expliqués par une forte précipitation qui entraînerait un grand nombre d'erreurs.

2.2. En Numérosité

	Moyenne des témoins	Moyenne des patients	Note Z-score
A1	19,83	18,14	2,11
A2	9,78	4,73	8,99
A3a	9,65	9,15	0,82
A3b	9,48	9,06	0,6
A4	9,86	9,41	0,7
A5a	19,62	19,35	0,39
A5b	18,73	16,94	1,4
A5c	19,63	18,26	1,72
A6	9,4	6,69	3

Tableau 7 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de numérosité

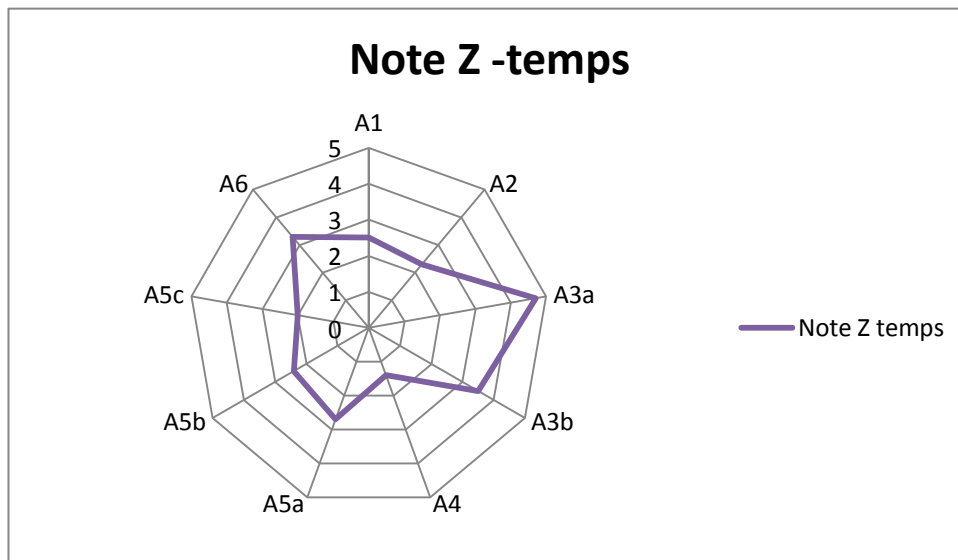


Graphique 3 : Z-scores des moyennes des patients aux épreuves de numérosité, représentés sous la forme d'un radar

On observe une relative homogénéité des résultats, avec une dissociation importante des scores dans l'épreuve de dénombrement (A2) (8,99 ET), qui est beaucoup plus déficitaire que le reste des épreuves.

	Moyenne des témoins	Moyenne des patients	Note Z-temps
A1	16.26	31.10	2,5
A2	43.78	70.54	2,3
A3a	31.39	63.29	4,7
A3b	50.13	101.77	3,5
A4	21.08	35.20	1,4
A5a	54.04	90.94	2,7
A5b	98.33	166.81	2,4
A5c	86.55	122.69	2
A6	52.91	125.30	3,3

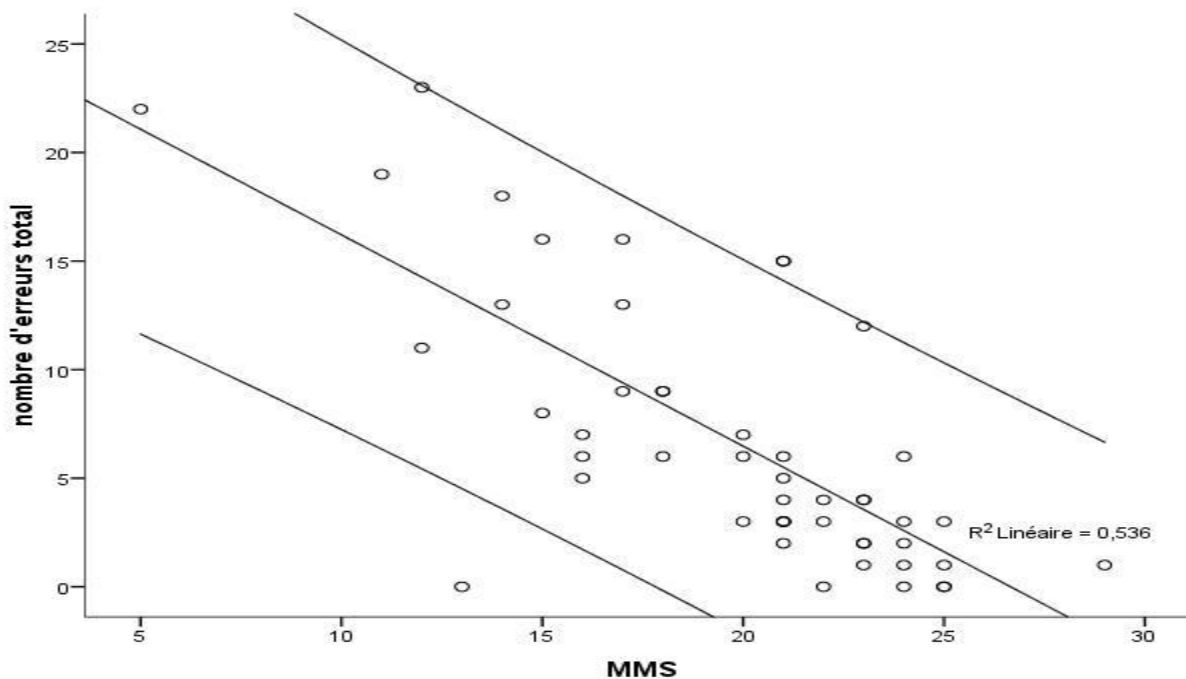
Tableau 8 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de numérosité



Graphique 4 : Z-scores des temps des patients aux épreuves de numérosité, représentés sous la forme d'un radar

3. Lien avec la sévérité

Celle-ci permet de mettre en évidence qu'il y a bien une corrélation entre le score MMS des sujets et le nombre d'erreurs totales en transcodage.



Graphique 5 : Corrélation des erreurs avec le MMS

	Corrélations
B1	N.C
B2	N.C
B3	0,529*
B4	0,547*
B5	N.C
B6	0,512*
B7	N.C
B8	N.C

Tableau 9: Corrélations entre le MMS et chaque épreuve de transcodage

L'analyse de la corrélation entre score MMS et chute des performances des différentes épreuves, montre qu'il y a peu de lien entre l'évolution de la maladie et les capacités de transcodage.

Seules les épreuves allant des modalités :

- numérale verbale orale vers la modalité écrite,
- numérale verbale orale vers la modalité arabe,
- numérale verbale écrite vers la modalité arabe,

sont corrélées au niveau d'atteinte cognitive, **mais cette corrélation reste très faible.**

De façon plus globale, on peut dire que toutes les tâches de dictée sont corrélées au score MMS, et ce, quelle qu'en soit la modalité.

	Corrélations
B1	-0,577*
B2	-0,505*
B3	-0,522*
B4	N.C
B5	N.C
B6	-0,544*
B7	N.C
B8	N.C

Tableau 10: Corrélations entre le MMS et les temps de réalisation pour chaque épreuve de transcodage

Concernant la corrélation entre la lenteur et le score MMS, elle montre qu'une corrélation quantitative n'équivaut pas forcément à une corrélation qualitative, puisque les modalités corrélées ci-dessus, ne le sont plus forcément en terme de temps.

L'analyse démontre que le ralentissement des performances de transcodage allant des modalités :

- numérale arabe vers numérale verbale orale,
- numérale verbale écrite vers numérale verbale orale,
- numérale verbale orale vers numérale arabe,
- numérale verbale écrite vers numérale arabe

est corrélé au score MMS.

En somme, les capacités d'accès à la modalité analogique ne seraient apparemment pas liées à l'atteinte de la maladie, de même que la quasi-totalité des transcodages allant vers la modalité verbale écrite, alors que les transcodages depuis la modalité verbale écrite sont

atteints, mais de façon peu significative. Ces disparités mettent en évidence une première dissociation.

4. Relation entre les différents aspects du transcodage (corrélations)

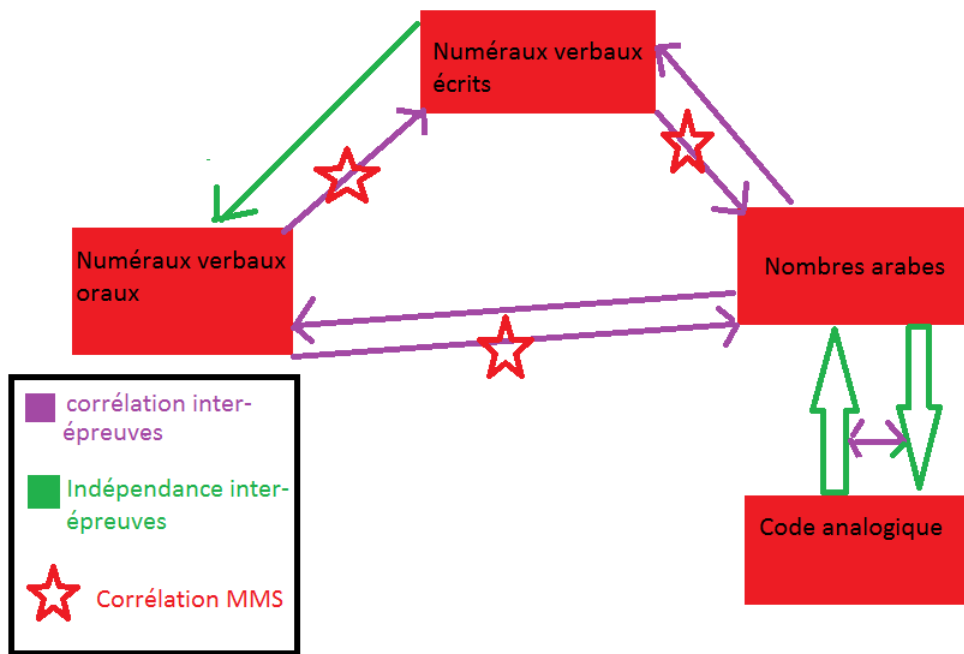
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
B1		N.C	0,606	0,693	0,547	0,548	N.C	N.C
B2	N.C		N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
B3	0,606	N.C		0,613	0,568	0,821	N,C	N,C
B4	0,693	N.C	0,613		0,635	0,596	N.C	N.C
B5	0,547	N.C	0,568	0,635		0,56	N.C	N.C
B6	0,548	N.C	0,821	0,596	0,56		N.C	N.C
B7	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	0,518		0,65
B8	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	0,65	

Tableau 11 : Corrélations inter-épreuves en transcodage

L'étude des corrélations inter-épreuves, cherchant à savoir si les épreuves sont touchées indépendamment les unes des autres, montre une **relative indépendance des capacités de transcodage analogique**, puisque les épreuves testant le passage depuis et vers le code analogique ne voient pas leur résultats corrélés aux autres épreuves.

De même, l'épreuve testant les facultés de transcodage d'un nombre verbal écrit vers un nombre verbal oral montre la même caractéristique.

Les facultés qui indiquent le plus fort indice de corrélation, sont celles mettant en jeu le transcodage depuis un nombre verbal oral (B5 et B6).



Graphique 6 : Synthèse des corrélations observées entre les différentes formes de transcodage

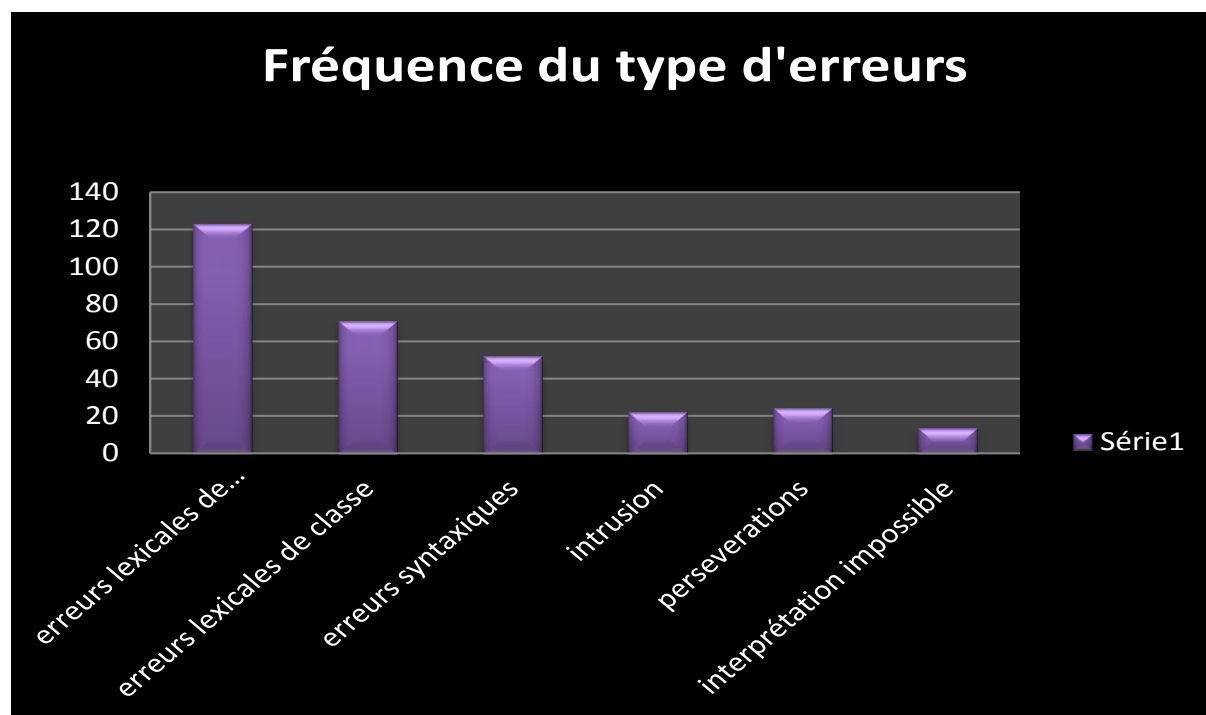
Finalement, on peut conclure que :

- Les performances aux différentes épreuves sont liées entre elles, hormis pour la modalité verbale écrite, qui est indépendante des autres en terme de production, ainsi que le code analogique, qui semble être un système fonctionnant à part. Pour ce dernier, les modalités (entrée et sortie) sont corrélées entre elles.
- La modalité arabe est corrélée au MMS, mais seulement en réception, quel que soit le code d'entrée.
- La modalité verbale orale est corrélée au MMS mais seulement en production, quel que soit le code de sortie.

5. Interprétation des erreurs de transcodage

	ELP	ELC	ES	I	P	IP	TOTAL
B1	10	6	19	2	1	0	38
B2	12	3	4	2	0	2	23
B3	13	17	8	1	2	0	39
B4	11	2	8	11	12	3	47
B5	5	2	5	5	5	0	17
B6	10	11	4	1	1	3	29
B7	45	16	2	1	3	3	67
B8	17	14	2	0	0	2	35
TOTAL	123	71	52	23	24	13	306

Tableau 12 : Recensement et classement de toutes les erreurs rencontrées



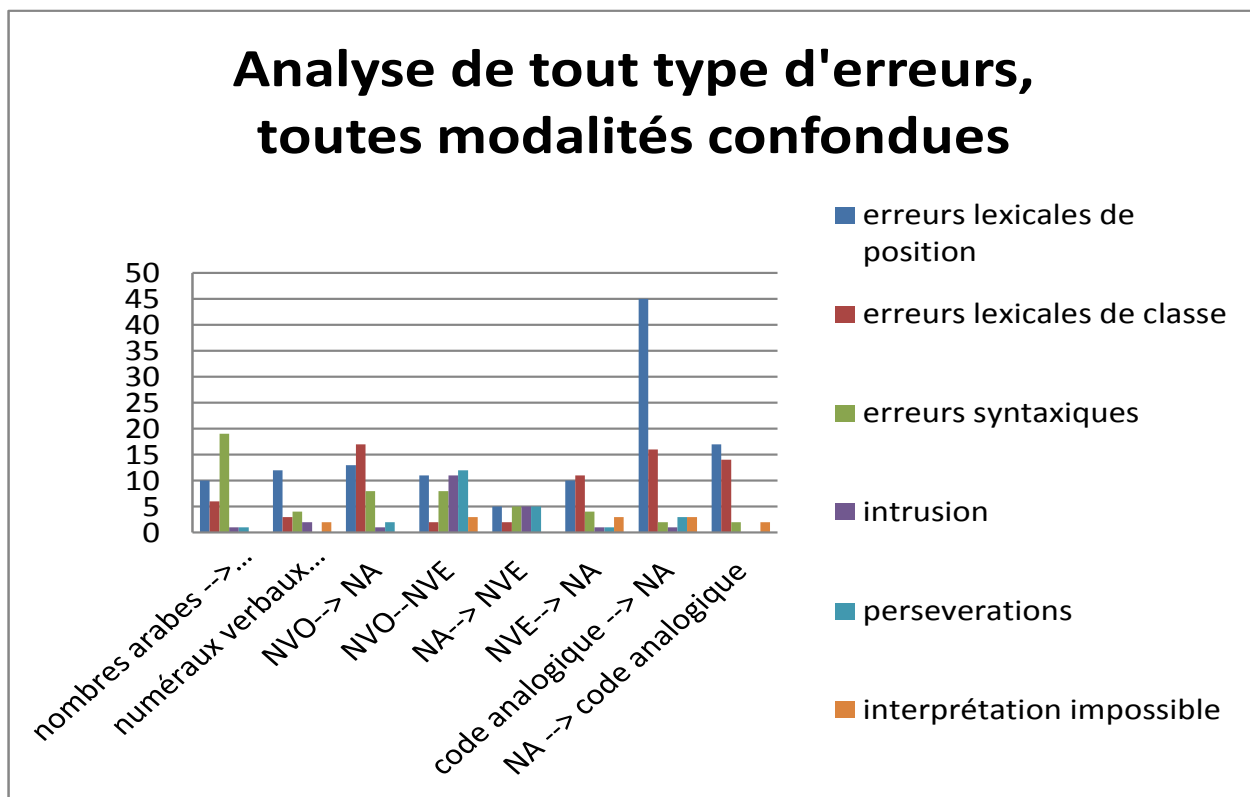
Graphique 7: Répartition des erreurs en fonction de leur fréquence

De façon très globale, on observe que les erreurs lexicales, qui ont été divisées en deux classes (position et classe), sont les plus fréquentes et correspondent à 63% des erreurs totales.

Les erreurs syntaxiques correspondent à 16% des erreurs totales.

Les intrusions et persévérations restent minoritaires.

Les types d'erreurs ont été présentés, toujours sous forme d'histogramme, mais cette fois-ci en fonction de leur modalité d'apparition.



Graphique 8 : Analyse de tous les types d'erreurs, toutes modalités confondues

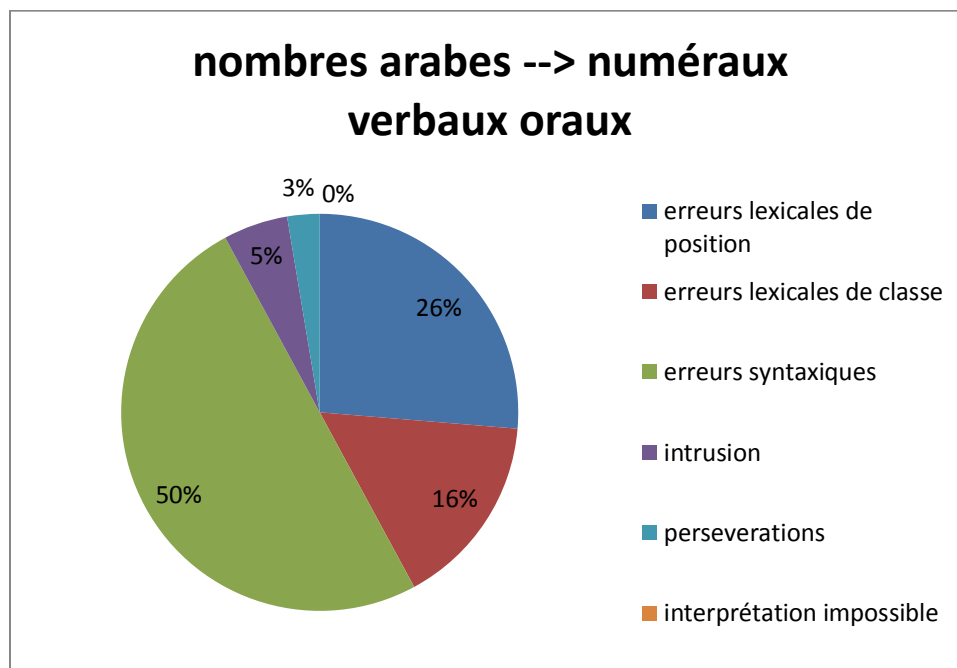
On observe que **les erreurs lexicales de position sont les plus répandues, et ce, toutes modalités confondues.**

Les erreurs syntaxiques se retrouvent principalement dans **des transcodages allant du nombre arabe vers les numéraux verbaux écrits**, c'est-à-dire lors de lecture de chiffres arabes.

Les erreurs lexicales de classe, quant à elles, sont particulièrement observables dans des épreuves de dictée de chiffres, c'est-à-dire d'un **transcodage allant d'un numéral verbal oral**

vers un nombre arabe, bien qu'on les retrouve également de façon non négligeable de la modalité analogique vers la modalité arabe, quel que soit le sens de transcodage.

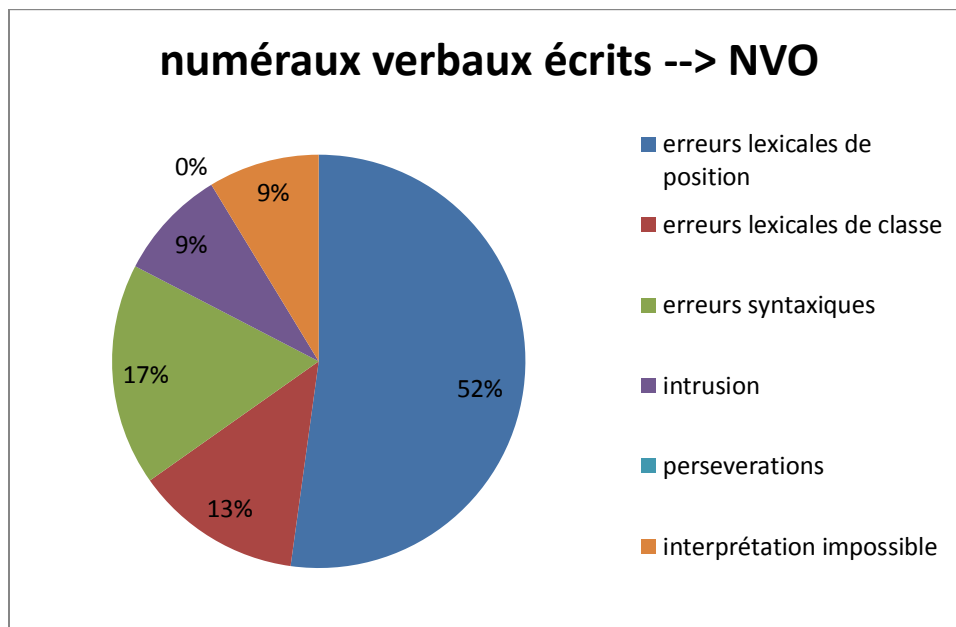
Les persévérations et les intrusions demeurent minoritaires.



Graphique 9 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité arabe à la modalité verbale orale

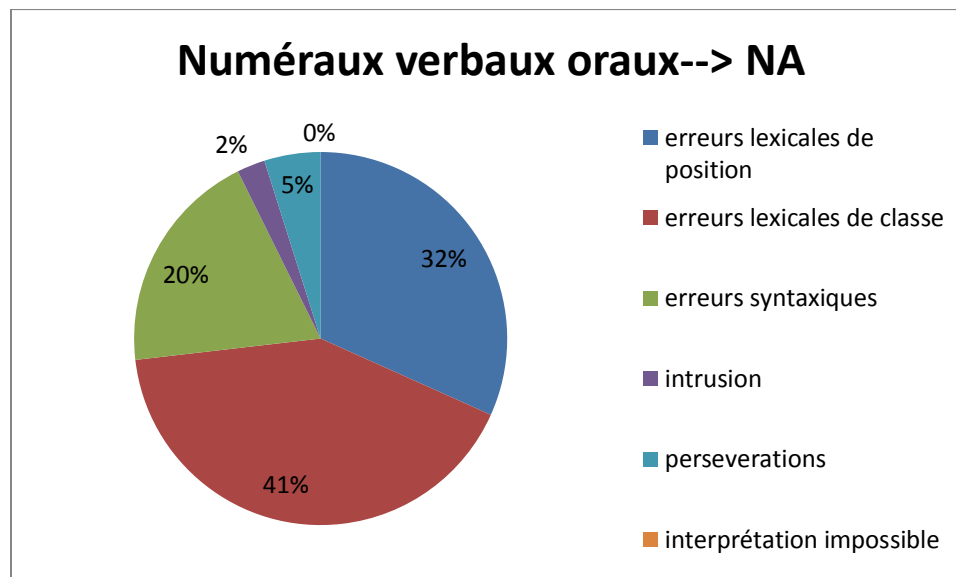
Les erreurs syntaxiques représentent la moitié des erreurs pour un transcodage allant de la modalité arabe vers la modalité verbale orale. Il semble que ce soit le transcodage le plus propice à ce type d'erreurs.

Viennent ensuite les erreurs lexicales, qui représentent au total 42% des erreurs produites, avec une majorité d'erreurs lexicales de position.



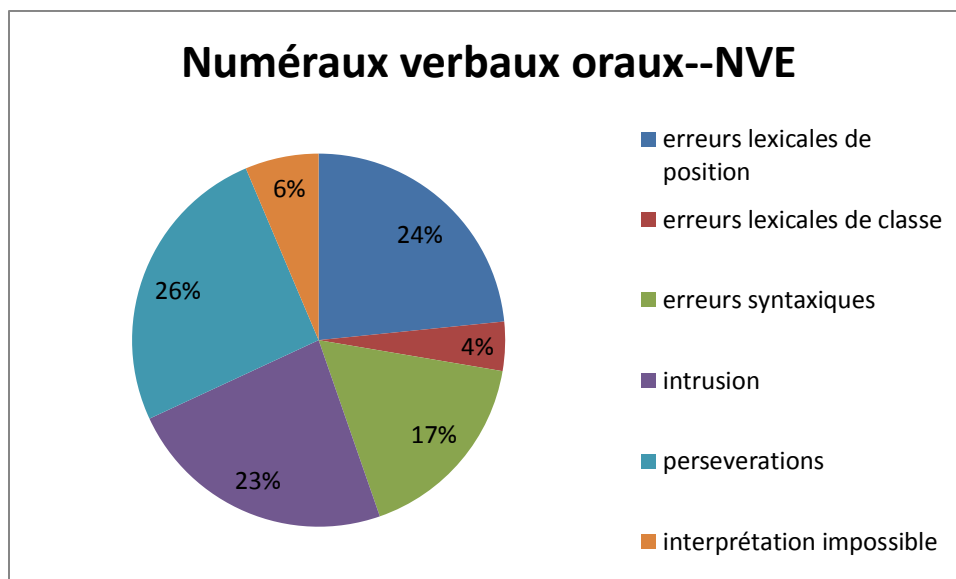
Graphique 10 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale écrite à la modalité verbale orale

Pour cette modalité, ce sont les erreurs lexicales qui sont les plus représentées (68%). Ici, les erreurs syntaxiques ne représentent plus que 17% des erreurs produites.



Graphique 11 : Distribution des erreurs de transcodage de la modalité verbale orale à la modalité arabe

C'est sur ce transcodage que les erreurs lexicales sont les plus prégnantes, puisqu'elles représentent au total 73% des erreurs produites. On observe une majorité d'erreurs lexicales de classe.

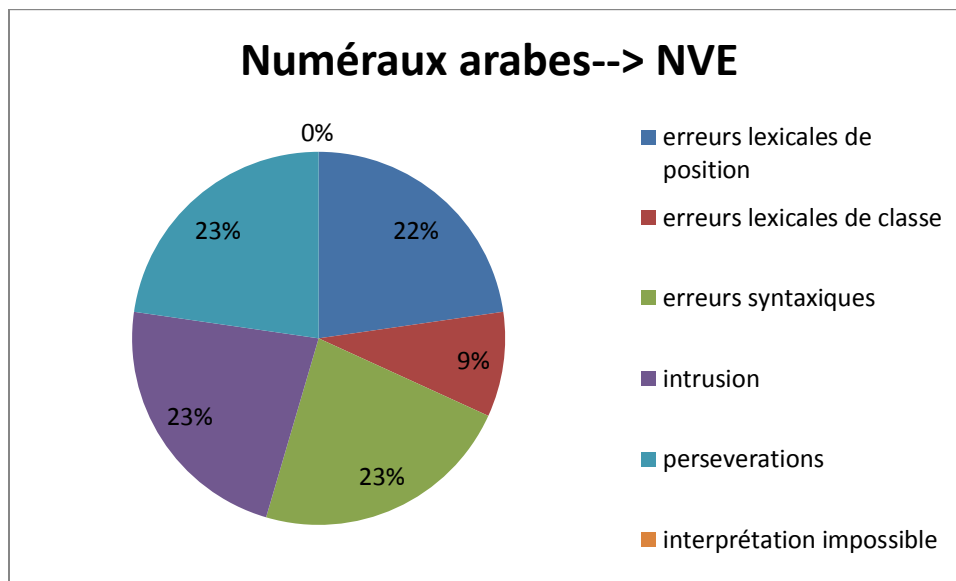


Graphique 12 : Distribution des erreurs de transcodage de la modalité verbale orale à la modalité verbale écrite

Le transcodage de la modalité verbale orale vers la modalité verbale écrite est celle qui a mis le plus en échec nos patients, et également, celle qui a leur a demandé le plus de temps.

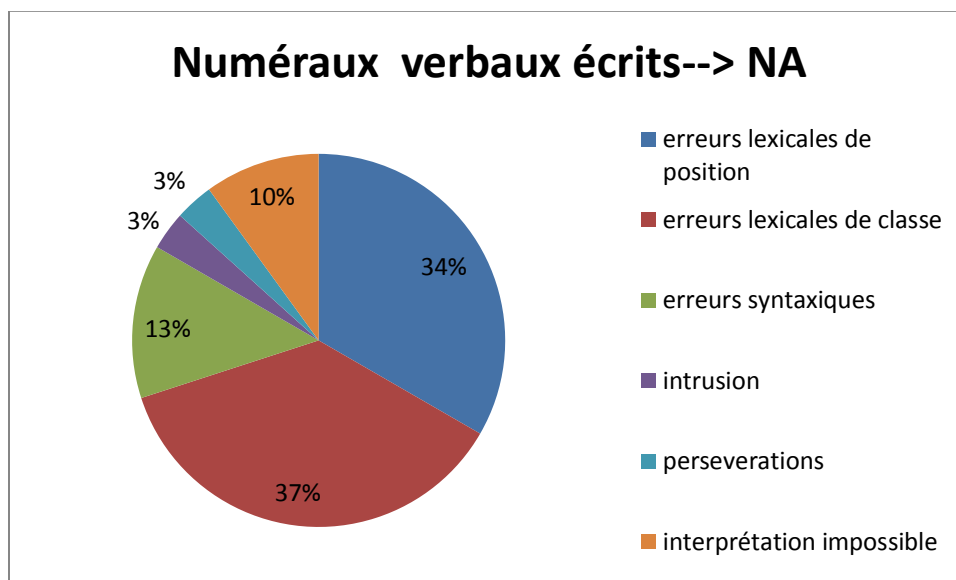
Les erreurs d'intrusions (23%) et de persévérations (26%) sont plus fréquentes que dans les autres types de transcodage.

Les erreurs lexicales représentent 28% du nombre d'erreurs totales, ce sont surtout des erreurs de positions (24%). Cette modalité est celle qui suscite le moins d'erreurs de classe.



Graphique 13 : Distribution des erreurs en transcodage, de la modalité arabe vers la modalité verbale écrite

On observe encore une fois **beaucoup d'erreurs de type intrusions (23%) et persévérations** dans ce transcodage (23%). **Cependant, elles se répartissent de façon homogène avec les erreurs syntaxiques (23% également)** Les **erreurs lexicales sont légèrement majoritaires (31%)**, avec un plus grand nombre d'erreurs de position (22%) que de classe (9%).



Graphique 14 : Distribution des erreurs de transcodage, de la modalité verbale écrite vers la modalité arabe

Quand le transcodage n'est pas à destination d'un numéral verbal écrit, mais en provenance d'un numéral verbal écrit, les erreurs d'intrusion et de persévération sont moindres (3% chacune). Les erreurs lexicales deviennent majoritaires (71%) et se répartissent relativement équitablement entre des erreurs de classe (37%) et de position (34%).

Discussion générale

1. Rappel de l'objectif

L'objectif de cette étude est de rendre compte des difficultés supposées en calcul chez les sujets Alzheimers à l'aide de l'outil ECAN. Pour mettre en évidence ces potentiels troubles, nous avons appariés en âge les sujets Alzheimers à des sujets témoins. En revanche, nous n'avons pas appariés les sujets en NSC.

Une des principales limites de notre étude repose sur les difficultés d'accès aux critères diagnostiques des patients. En effet, il s'est avéré ardu de trouver des patients ayant reçu un diagnostic précis et certain de maladie d'Alzheimer. Toutefois, il reste cependant probable que la plupart de ces patients ont une authentique maladie d'Alzheimer compte tenu de leur suivi dans des filières Alzheimers.

2. Réponses aux hypothèses

Hypothèse 1 : Les malades atteints d'Alzheimer ont-ils des troubles du calcul ?

D'après l'étude d' Arnaud, Lemaire & al. (2008), les compétences des patients Alzheimers sont perturbées pour les faits arithmétiques et les procédures de transcodage. En revanche, les procédures de comparaison de nombres et de subitizing (numérosité) ne sont pas affectées par la maladie.

Deloche et al. En 1995, affirment que le traitement numérique est affecté dès les premiers stades de la maladie. Il s'agirait à l'évidence d'un marqueur fiable pour poser le diagnostic de la maladie d'Alzheimer (Carlomagno & al., 1999 ; Deloche & al., 1995 ; Kaufmann & al., 2002 ; Mantovan & al., 1999 ; Marterer & al., 1996 ; Rosselli & al., 1998).

L'outil utilisé dans le cadre de notre étude, l'ECAN, visait à objectiver ces constatations.

Les résultats obtenus témoignent du fait que les patients Alzheimers présentent effectivement des troubles du calcul.

Les comparaisons entre les témoins et les patients ont permis de mettre en évidence que :

- Les performances des patients sont plus échouées que celles des sujets témoins,

- Les patients Alzheimers sont plus lents que les témoins dans toutes les épreuves.

Les différences se sont manifestées aussi bien en numérosité qu'en transcodage avec des difficultés plus marquées en transcodage qu'en numérosité.

Tegner et Nybäck désignent la baisse de performance en transcodage comme caractéristique de la maladie d'Alzheimer et avancent l'idée d'un screening intégrant des transcodages de la forme verbale vers la forme arabe (NV => NA), qui serait un moyen rapide de dépister la démence.

En effet, les formes numériques arabes sont situés dans la zone occipito-temporale, or le lobe temporal est un des premier touché par le phénomène de démyélinisation annonciateur de la maladie d'Alzheimer, il paraîtrait donc logique que la capacité de transcoder de et vers les nombres arabes soit moins efficace dès le début de la maladie.

Hypothèse 2 : Dissociation transcodage/numérosité ?

Nous avons cherché, à travers une analyse quantitative, à voir s'il existait des différences de performance en numérosité et en transcodage chez les personnes atteintes de la Maladie d'Alzheimer.

Nous n'avons trouvé que très peu d'écrits sur ces aspects de la maladie, la numérosité étant très peu renseignée, et les articles traitant le transcodage, s'intéressent le plus souvent aux types d'erreurs. Cependant, une étude de Lefebvre et Pruvost en 2010 décrit la tâche de transcodage, plus coûteuse en temps. Elle pourrait mettre davantage les patients en difficultés du fait d'une altération de la composante verbale de la mémoire de travail et plus particulièrement dans le processus d'autorépétition de la boucle phonologique.

Et en effet, c'est ce que montrent nos résultats.

- Concernant les épreuves de numérosité, on a pu constater que **certaines tâches étaient réalisées facilement avec un effet plafond**. Il faut rester prudent face à ce constat car certaines épreuves du NPC (Delazer, 2003) montraient déjà un effet plafond. C'est le cas par exemple du comptage oral (épreuve A) qui semble relativement bien préservé malgré la maladie. **Cela peut s'expliquer par le caractère automatique de la comptine numérique.**

En revanche, l'épreuve de placement de numéraux arabes sur une échelle (A6) est particulièrement affectée chez nos patients Alzheimers. Nous n'avons pas trouvé de données de

la littérature pouvant expliquer ce phénomène mais nous pensons que cela pourrait provenir de difficultés à traiter le visuo-spatial. De plus, il aurait été intéressant de comparer leurs performances avec une échelle cette fois-ci présentée horizontalement pour vérifier que ce n'est pas l'orientation de l'échelle qui pose problème mais bien l'accès à la quantité.

- Concernant le transcodage, **on constate que les épreuves impliquant des productions verbales écrites sont les plus touchées**, comme cela est décrit dans l'étude de Lefèbvre et Pruvost en 2010.

On suppose que **la production écrite est plus contraignante car elle nécessite un effort cognitif plus important** puisqu'il faut programmer non seulement le transcodage en lui-même mais aussi la séquence motrice qui permet sa réalisation. Les fonctions exécutives sont également plus sollicitées puisque l'effort de planification et de vérification demande une attention plus soutenue que lors d'une tâche avec production orale.

Les numéraux arabes sont traités dans un territoire anatomique différent (région occipito-temporale) **de celui dans lequel sont traités les numéraux verbaux** (gyrus frontal inférieur gauche). Or le cortex frontal est touché par la démyélinisation au stade avancé de la maladie, ce qui pourrait surement expliquer la corrélation du transcodage des numéraux verbaux avec le MMSE. On peut donc imaginer une sensibilité particulièrement marquée soit de cette région soit des connexions avec cette région dans la maladie d'Alzheimer. Des études ultérieures seraient nécessaires pour approfondir cette réflexion.

Hypothèse 3 : les résultats sont-ils corrélés au MMS ?

Certaines épreuves de transcodage sont-elles corrélées au MMS ? Les performances se dégradent-elles au fur et à mesure de la sévérité de la maladie ?

Deloche et al. en 1995 montrent que **les performances en transcodage de patients Alzheimers au stade débutant sont corrélées au MMS**. De plus, ils rapportent également une **corrélations avec les capacités langagières**.

A ce propos, il peut être intéressant de noter qu'il existe aussi un lien entre le transcodage et les capacités attentionnelles et exécutives (Carlomagno & al., 1999) et plus précisément des capacités d'inhibition (Mantovan & al., 1999).

Nous avons pu mettre en exergue que les performances sont tributaires du MMS. En effet il existe comme on pouvait s'y attendre une baisse des performances suivant l'évolution de la maladie. On remarque que les épreuves corrélées au MMS font intervenir la réception de code arabe et la production de numéraux verbaux oraux. Ces épreuves sont donc plus sensibles.

Ces épreuves, qui sont les plus vite perturbées, les moins résistantes à la maladie, liées au MMS et facilement réalisables pourraient faire l'objet d'une priorité pour le dépistage.

Hypothèse 4 : relations entre les différents aspects du transcodage.

Nous avons cherché à voir s'il existait des liens entre les atteintes aux différents transcodages. En d'autres termes, notre recherche portait sur la dépendance ou non des différents systèmes entre eux : un dysfonctionnement de l'un d'eux aura-t-il une répercussion sur le fonctionnement des autres ?

Très peu d'études ou d'écrits ont pu nous documenter ou nous aider sur ce sujet, mais de récents travaux (Seron & Noël, 2005) ont démontré que des **déficits modulaires** pouvaient être retrouvés chez les patients atteints de démence neuro-dégénérative et particulièrement chez les sujets Alzheimers. Ce qui nous a dans un premier temps amené à penser à une relative indépendance des sous-modèles.

Dans notre corpus, certaines épreuves (B1 B3 B4 B5 B6) forment un **noyau de corrélation** alors que les autres semblent complètement indépendantes. On remarque que les corrélations sont bi-directionnelles, **les systèmes sont donc dépendants les uns des autres** : les deux systèmes qui paraissent indépendants sont ceux qui permettent la lecture et l'utilisation de jetons.

Nous avons alors essayé de trouver un lien entre ces deux types de transcodage. Et nous avons trouvé comme explication que ces deux épreuves sont les seules à ne pas nécessiter à première vue de représentation sémantique :

- ❖ En effet, le transcodage qui consiste à **lire des numéraux verbaux écrits** (NVE) ne semble pas impliquer de représentation sémantique car il ne s'agit en réalité que d'une activité de conversion grapho-phonémique.
- ❖ Les activités faisant appel au **code analogique** (CA), requièrent quant à elles une représentation sémantique mais non verbale. Il s'agit en effet d'une capacité pré-langagière. Or, comme nous l'avons évoqué précédemment, il existe très probablement des corrélations entre le transcodage et les aptitudes langagières.

Ces épreuves ne faisant pas appel au langage, on peut envisager qu'elles soient indépendantes. De plus, ce sont des tâches très spécifiques, qui utilisent les fonctions exécutives et donc ce n'est pas exclus qu'elles fonctionnent en marge du système de transcodage.

- ❖ A l'inverse, **la lecture de nombres arabes (NA)** est plus chutée dans notre étude. Nous posons l'hypothèse qu'il faut recourir à un code symbolique dans lequel c'est la notion de position qui fait loi. Il faut également pouvoir programmer la séquence verbale correspondante, ce qui demande aussi des capacités d'évocation.

Si l'on se réfère au modèle de Mc Closkey ci-dessous détaillé, l'un ou l'autre, voire plusieurs des modules entrant en jeu dans le transcodage pourraient être lésés indépendamment des autres.

Ceci signifierait que son dysfonctionnement pourrait avoir une conséquence sur le transcodage d'une ou plusieurs modalités, que ce soit en entrée ou en sortie, sans que cela n'ait de répercussions sur les autres.

Nous avons choisi d'étudier ces corrélations en les mettant en rapport avec le modèle de Mc Closkey.

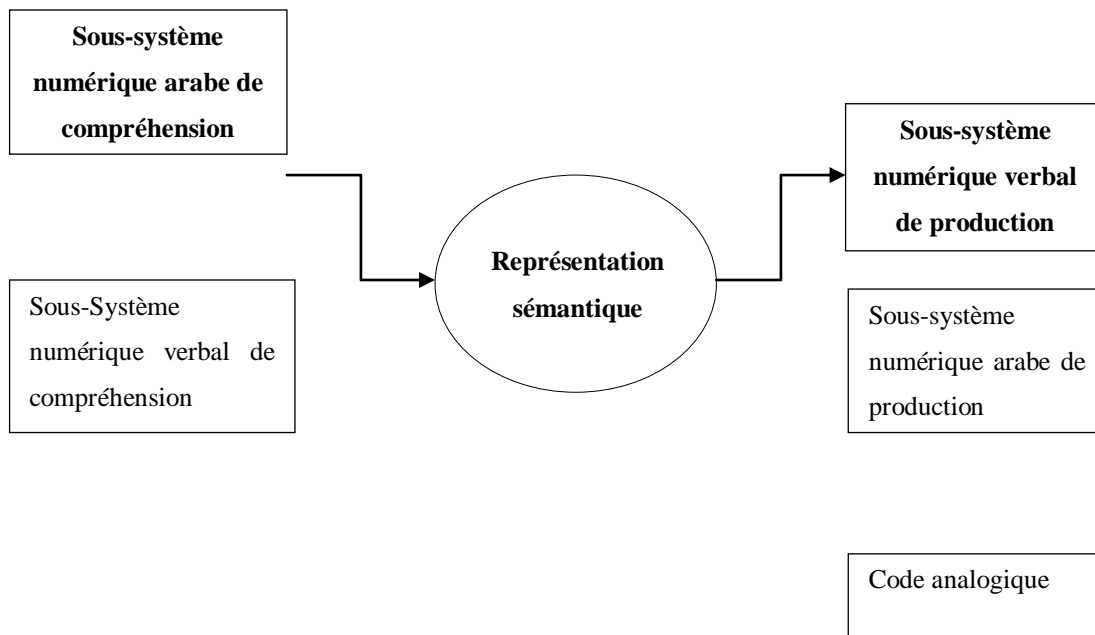


Figure 13 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre arabe, vers un nombre verbal, oral ou écrit

Dans notre corpus, il apparaît que les transcodages allant de **la modalité arabe vers les modalités verbales, qu'elles soient orales ou écrites**, sont corrélés aux résultats des autres transcodages.

On pourrait déduire que les modules de compréhension numérique verbale et de production numérique orale entrant en jeu dans ce type de transcodage sont dépendants des autres modules. Il en va de même pour la représentation sémantique.

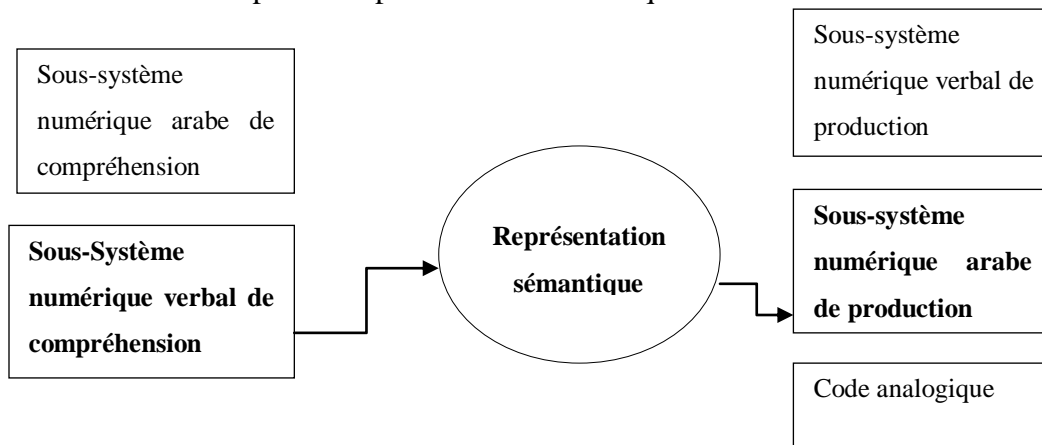


Figure 14 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre verbal (oral ou écrit), vers un nombre arabe

Ce type de transcodage apparaît également comme étant corrélé aux autres épreuves.

De ce fait on peut poser l'hypothèse que le sous-système verbal de compréhension, et le sous-système arabe de production sont corrélés avec ceux sus-cités et la représentation sémantique.

Nous allons maintenant mettre en relation ces observations avec le fonctionnement du transcodage allant de la modalité verbale écrite vers la modalité verbale orale.

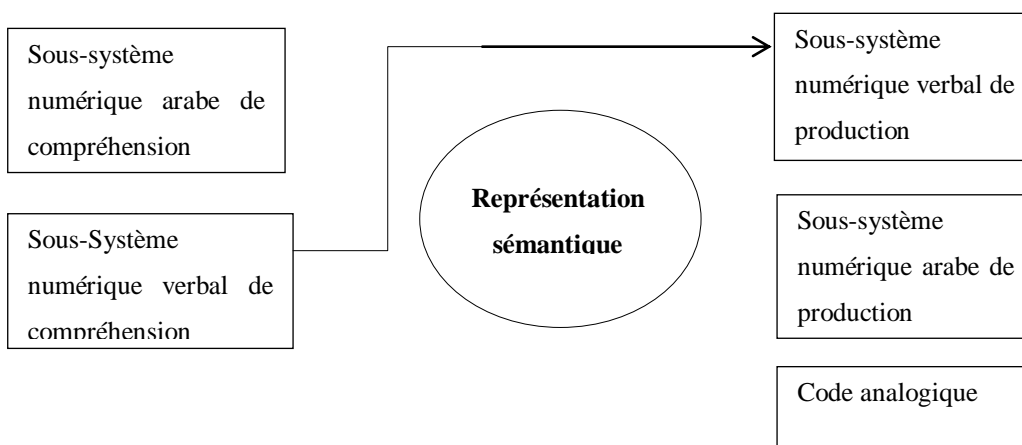


Figure 15 : Modules entrant en jeu dans le transcodage d'un nombre verbal écrit vers le code verbal oral

Ce transcodage met en œuvre les sous-systèmes numérique verbal de compréhension, et verbal de production.

Les deux schémas précédents expliquaient en quoi on pouvait penser que ceux-ci étaient corrélés aux autres modules.

Or il n'en est à priori rien, puisque nous avons déjà exposé le fait que **le transcodage de numéraux verbaux écrits vers des numéraux verbaux oraux n'est pas corrélé aux autres.**

Il apparaît donc que le seul module qui puisse être corrélé à toutes ces épreuves est la **représentation sémantique.**

Hypothèse 5 : distribution des erreurs

En plus de cette analyse quantitative, nous avons voulu étudier la répartition des erreurs de manière globale dans un premier temps afin de voir si certaines étaient plus présentes que d'autres. Dans un second temps, nous avons voulu approfondir cette analyse en examinant la répartition des erreurs en fonction des épreuves, afin de savoir si certaines étaient plus caractéristiques de certaines formes de transcodage.

Nous avons repris la classification et la méthodologie, utilisées lors de précédentes études, et avons classé nos erreurs en différentes catégories :

-Les erreurs lexicales, divisées en **erreurs lexicales de classe** (303 traduit 330) et de **position** (303 traduit 304),

-Les erreurs syntaxiques,

-Les intrusions et persévérations.

Notre première observation est que **les erreurs lexicales sont de loin les plus fréquentes** dans notre corpus puisqu'elles représentent 62% des erreurs totales. On les rencontre le plus souvent dans le transcodage allant de la modalité analogique vers la modalité arabe (CA => NA).

Parmi ces erreurs, les erreurs de classe apparaissent le plus souvent dans le transcodage allant de la modalité verbale orale vers la modalité arabe, tandis que les erreurs de position sont plus répandues dans le transcodage allant de la modalité analogique vers la modalité arabe.

Ceci pourrait provenir d'une difficulté se situant sur l'une des étapes nécessaires au transcodage :

- **Etape lexicale** : elle consiste à extraire les informations contenues dans la chaîne verbale et permet d'accéder aux primitives lexicales, qui donnent des indications de classe et de position dans la classe, (sous module de compréhension de modèle de Mc Closkey),
- **Le transcodage en lui-même** : on accède au cadre syntaxique qui va guider la production de numéraux arabes. Puis on le remplit avec les éléments de classe et de position, obtenus dans l'étape précédente (sous-module de production du modèle de Mc Closkey).

Suite à ces observations, nous nous sommes aperçues que le nombre arabe semblait poser problème à nos patients Alzheimers. Nous avons alors essayé de faire un lien avec le modèle de Mc Closkey, afin de voir si une atteinte du sous-module de production arabe pouvait être atteinte.

Or, le transcodage est possible pour les numéraux verbaux écrits vers les numéraux arabes. Il se trouve que ce type de transcodage utilise les mêmes sous-modules que pour un transcodage de la modalité verbale orale vers arabe : Le sous-module de compréhension verbal (le même pour les nombres écrits et verbaux) et le sous-module de production arabe. Dans ce cas précis, les modules ne semblent donc pas être mis en cause. La seule variable semblant pouvoir expliquer cette dissociation entre les transcodages verbaux oraux et écrits est le support. Nous l'avons expliqué par un déficit de la mémoire de travail : dans une tâche de dictée de nombres arabes, le patient ne peut s'attacher au support écrit, comme c'est le cas dans un transcodage de numéraux verbaux écrits vers un nombre arabe. Or, dans la maladie d'Alzheimer, la mémoire verbale de travail est altérée ; et le processus d'autorépétition de la boucle phonologique n'est plus aussi efficient (Lefebvre & Pruvost, 2010), ceci peut sans aucun doute expliquer le nombre important d'erreurs lexicales dans une tâche de dictée de nombres arabes.

Quant au transcodage allant du code analogique vers un nombre arabe, nous expliquons les nombreuses erreurs lexicales par le fait que les composantes visuo-spatiales et exécutives, nécessaires à sa réussite, sont lésées dans le cas de la maladie d'Alzheimer. Là aussi, les sous-modules ne sont probablement pas mis en cause.

Dans notre corpus, les **erreurs syntaxiques** représentent environ 17 % des erreurs totales.

Nous avons remarqué que la majorité d'entre elles se retrouvaient sur le transcodage allant des modalités arabe et verbale orale et ce, quel que soit le sens de transcodage. Il s'agit la plupart du

temps de **phénomènes de lexicalisation**. Néanmoins, le transcodage allant des modalités verbale écrite et arabe était relativement bien conservé.

D'après Seron et Noël (1995), les erreurs de lexicalisations interviennent surtout sur les nombres avec des milliers, dans les relations additives. Elles seraient bien moins fréquentes avec les centaines.

Seron et Noël ont également décrit un cas unique de patient qui se trouvait en difficulté quand il s'agissait de produire des numéraux arabes à partir de numéraux verbaux. Il produisait alors des erreurs partielles de lexicalisation, c'est-à-dire un transcodage littéral de chaque mot. Le plus souvent, le terme à terme de chaque élément est rare, la lexicalisation partielle est plus courante. C'est également ce que nous avons observé dans notre étude

Nous avons tenté d'expliquer les dissociations observées dans nos résultats d'après ce que nous avons pu observer lors de nos passations.

Un grand nombre de personnes Alzheimers semblaient s'attacher à lire littéralement les nombres, comme s'ils lisaient un code grapho-phonémique. On peut donc imaginer que ces erreurs sont dues à la mauvaise interprétation du code symbolique. En effet, Mc Closkey et al. (1985) localisent ce déficit dans le traitement syntaxique du système de production arabe. Ils n'apportent malgré tout pas d'interprétations supplémentaires.

Dans notre corpus, peu d'**erreurs d'intrusions** ont été relevées par rapport aux autres formes d'erreurs répertoriées. En effet, seulement 7% des erreurs enregistrées sont des erreurs d'intrusion. Ces erreurs sont pourtant considérées comme les plus « frappantes » par Deloche et Seron (1987).

Tegner et Nybäck ont rapporté dans une de leurs études, que 11 patients Alzheimers sur 13 produisaient des intrusions des nombres arabes vers les numéraux verbaux écrits (NA => NVE). Selon eux, il pourrait s'agir d'une **difficulté à inhiber le code arabe** : ils ont constaté que **la production de numéraux arabes donnait lieu à davantage de persévérations alors que la production de numéraux verbaux écrits ne créait pas autant d'erreurs**.

Seul 2% de nos erreurs d'intrusion se trouvent sur ce type de transcodage (NA => NVE).

Certes, il s'agit de la deuxième modalité préférentielle aux persévérations et intrusions, cependant nous en relevons plus concernant le transcodage allant **de la modalité verbal orale vers la verbale écrite (48%)**.

Della sala et al. (2000) confirment, d'après leur étude, que **tous les patients Alzheimers ne sont pas concernés par ces erreurs d'intrusion et de persévération.**

Par ailleurs, la distribution des erreurs de notre corpus ne correspond pas forcément en tous points à ce qui est décrit dans la littérature, tous les auteurs n'ayant pas adopté les mêmes classifications. Par exemple, certains auteurs à l'image de Kessler et Kalbe ou bien Thioux et al., considèrent les intrusions et les persévérations comme faisant partie du même type d'erreur et les regroupent sous le terme « lexical shifts ».

Nous n'avons effectivement pas retrouvés d'erreurs de ce type dans toutes les productions de patients, en témoigne le faible taux d'erreurs enregistrées, comparées aux erreurs d'autres types.

Les erreurs d'intrusions et de persévération pourraient être imputées à un déficit du Système superviseur attentionnel (SAS), responsable de l'allocation des ressources attentionnelles, de la flexibilité et de l'inhibition (modèle de Shallice, 1988). Il pourrait s'agir d'une difficulté à inhiber le code arabe, plus prégnant et automatique. Les erreurs d'intrusion et de persévération pourraient également résulter de l'association entre des dysfonctionnements dans les mécanismes du transcodage, et les processus attentionnels défailants. Cette hypothèse reste néanmoins encore sujette à controverse.

La fréquente co-occurrence d'intrusions et d'erreurs de lexicalisation, oriente vers une possible implication du système syntaxique dans l'origine des intrusions.

Dans une de leurs études, Della sala et al. (2000) établissent une **corrélation entre la prévalence des intrusions et la sévérité de la maladie.** C'est également ce qui ressort de notre corpus d'erreurs : la quasi-totalité des erreurs d'intrusion et de persévération ayant été commises par des patients ayant un MMSE inférieur à 16.

Afin de comprendre ce qui peut induire des intrusions de la part des patients, il aurait fallu comme le proposent de nombreux auteurs, observer sur quels items elles avaient couramment lieu. En effet, la longueur du nombre mais également la position à l'intérieur des numéraux pourraient être un facteur favorisant les intrusions. En revanche, les erreurs d'intrusion ne seraient pas en lien avec la structure syntaxique des numéraux à transcoder.

Limites et problèmes rencontrés

Au décours des passations, nous nous sommes heurtés à quelques difficultés, en voici les principales:

I. Contraintes inhérentes à notre population

- ❖ La contrainte majeure a été de réunir suffisamment de patients diagnostiqués Alzheimers. Il a été difficile de sélectionner des patients indemnes d'autres troubles susceptibles de modifier le tableau clinique, comme un déficit d'attention ou bien un léger syndrome dysexécutif. La réalité de terrain à laquelle nous avons été confrontées, nous a fait prendre conscience qu'une maladie d'Alzheimer « pure » est assez peu fréquente. Certains patients présentaient plutôt un profil de DTA.
- ❖ Les critères d'exclusion ont fortement limité le recrutement des patients car beaucoup présentaient une maladie d'Alzheimer associée à autre chose (beaucoup d'antécédents neurologiques).
Afin de répondre au mieux aux critères que l'on s'était fixés au départ, il a fallu faire le plus possible la part entre ce qui relevait de la maladie d'Alzheimer et ce qui pouvait correspondre à des troubles annexes.
- ❖ Un autre biais de recrutement qu'il faut prendre en compte, concerne la motivation pour le protocole. En général, les patients qui ont accepté de participer au test avaient un bon rapport aux nombres. D'autres ont été réticents car cela les renvoyait à quelque chose d'anxiogène.
- ❖ La plupart du temps, ces personnes n'avaient pas passé de bilan neuropsychologique complet et récent. Cette absence d'informations, pourtant capitales, a compliqué notre démarche car il n'a pas toujours été possible d'interpréter les résultats obtenus à la lumière de ces données (exemple : corrélation entre attention, fonctions exécutives et troubles du calcul)
- ❖ Notre population Alzheimer est assez hétérogène car il a été ardu d'évaluer des personnes

avec une efficacité cognitive globale faible, se situant donc dans la catégorie Alzheimer avancé. Cet écueil s'explique de deux façons:

- Soit nous n'avons pas eu l'opportunité d'évaluer ces patients car ils n'étaient pas présents dans les structures où nous nous sommes rendues,
- Soit ces patients-là n'étaient pas évaluables du fait de leur état de déclin cognitif ou de leur fatigabilité. En effet, notre protocole est long et nécessite des facultés d'attention et de concentration encore préservées. De plus, souvent les orthophonistes elles-mêmes nous mettaient en garde, nous expliquant que ces patients pouvaient être sujets à des troubles du comportement et déclencher des réactions imprévisibles.

II. Contraintes inhérentes au protocole d'évaluation

La structure et la nature des épreuves

- ❖ Le reproche que l'on peut formuler à l'encontre de cet outil est sa longueur, qui constitue un réel frein pour les passations. En effet, certains patients se sont montrés un peu réticents à la vue du protocole car cela leur paraissait très long. De surcroît, l'objectif de ce protocole est d'être utilisé en situation de bilan orthophonique. Or, en l'état il risque d'être difficile à administrer par manque de temps.

Il conviendrait peut-être de réduire certaines épreuves en première intention pour procéder à un screening et explorer plus avant certains aspects en fonction de ce que l'on aura observé pendant l'évaluation.

- ❖ L'ECAN est un outil composé de nombreuses tâches, certes diversifiées mais certains domaines mériteraient d'être approfondis car ils n'apportent pas suffisamment d'informations. On peut par exemple regretter le fait qu'il n'y ait pas plus d'épreuves examinant précisément les capacités mettant en jeu le non symbolique (code analogique). Il manque notamment une épreuve de subitizing et une épreuve d'estimation de points. Cependant, la longueur du protocole ne nous a pas permis d'intégrer d'épreuves supplémentaires pour affiner notre étude.
- ❖ L'évaluation écologique est assez restreinte et pourtant est la plus représentative des troubles. Même si une partie de l'ECAN s'y consacre, il est nécessaire de greffer d'autres

épreuves pour pouvoir interpréter de façon plus objective les résultats. On pourrait par exemple adjoindre des épreuves telles que « dire combien coûte telle ou telle chose environ » ou travailler avec la monnaie. Il faut repenser les épreuves pour qu'elles correspondent davantage aux activités de vie quotidienne, proches des besoins des patients.

- ❖ Les épreuves liées au transcodage sont un peu longues et mériteraient d'être mieux calibrées pour être encore plus sensibles.

- ❖ Enfin, dans la mesure du possible il aurait été intéressant de confronter au moins deux fois les patients au test avec un laps de temps suffisant pour éviter un effet d'entraînement. Cela aurait permis de s'assurer de la constance ou de l'inconstance des réponses fournies. En effet, si une réponse était reproduite plusieurs fois elle pourrait constituer un marqueur d'une atteinte spécifique d'un module ou bien témoigner d'une défaillance de procédure. A l'inverse, une variabilité des réponses pourrait orienter davantage vers un déficit attentionnel.

Conclusion et perspectives

L'ECAN, outil d'Evaluation Clinique des Aptitudes numérique, développé à partir du NPC de Delazer, Girelli et al., a été conçu à partir des principaux modèles théoriques, et a bénéficié des avancées neuropsychologiques dans le domaine de la cognition numérique.

C'est un outil destiné à être administré en contexte clinique, sa vocation étant d'évaluer les troubles acquis du calcul et du traitement des nombres chez l'adulte.

Les résultats obtenus à l'issue de cette évaluation, confirment l'hypothèse selon laquelle les patients Alzheimers présentent des difficultés en numérosité et transcodage.

En effet, nous avons mis en évidence que leurs performances sont inférieures aux performances des sujets témoins, et ce de façon très souvent significative. De plus, nous avons mesuré un ralentissement pathologique de la vitesse de traitement dans la totalité des épreuves, qui signe un déclin cognitif et donc une baisse de vitesse de traitement de l'information.

Pour autant, la numérosité et le transcodage ne semblent pas être affectés de manière égale. Les épreuves mettant en jeu le transcodage sont dans l'ensemble moins bien réussies que les épreuves de numérosité.

L'analyse qualitative a mis au jour des dissociations au sein-même des épreuves de transcodage.

Il serait intéressant de s'attacher à décrire les erreurs commises par la population témoin. On pourrait, comme cela a été fait pour les patients, réaliser une analyse qualitative des erreurs, afin de déterminer si les erreurs des patients Alzheimers sont spécifiques à leur pathologie ou bien concernent également d'autres types de populations.

Dans une de leurs études, Kessler et Kalbe tiennent le superviseur attentionnel comme responsable en partie des problèmes de transcodage.

De ce fait, il pourrait être pertinent d'étudier de façon parallèle les erreurs de transcodage et l'efficacité de la mémoire de travail, et plus généralement des fonctions exécutives.

De plus, notre étude a envisagé à plusieurs reprises le lien entre le transcodage et les capacités de conversion grapho-phonémique. Il serait en ce sens intéressant de mener une étude conjointe des capacités de langage et de transcription de manière générale, en lien avec les actions de transcodage.

L'analyse des sous modules de la cognition numérique permettra d'engager une meilleure prise en charge rééducative, en s'appuyant sur ce qui fonctionne bien, ce qui est préservé.

L'élaboration finale de cet outil diagnostique, pourrait être d'une grande utilité pour nos prises en charge. En s'appuyant davantage sur ce qui marche bien, on pourrait amener le patient à s'investir dans sa rééducation et valoriser ainsi ses compétences résiduelles.

Enfin, cet outil est analytique et mériterait d'être comparé à un outil plus écologique tel que la Benq-R. Ces deux approches sont complémentaires et permettraient une véritable évaluation, la plus exhaustive possible.

Bibliographie

Articles

- [1] Amieva, H., Lafont, S., Auriacombe, S., Le Carret, N., Dartigues, J.F. & Orgogozo, J.M. (2002). Inhibitory breakdown and dementia of the Alzheimer type : a general phenomenon ? *J Clin Exp Neuropsychol*, 24, 503-16.
- [2] Amouyel, P. La maladie est-elle héréditaire? (2013). *L'essentiel Cerveau et psycho*, 43-49.
- [3] Ansari, D. (2007). Does the Parietal Cortex Distinguish between “10,” “Ten,” and Ten Dots? *Neuron*, 53, 165-167.
- [4] Antell, S.E. & Keating, D.P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child development*, 54, 695-701.
- [5] Ardila, A. & Rosselli, M. (1990). Acalculias. *Behavioural Neurology*, 3, 39-48.
- [6] Ardila, A. & Rosselli, M. (2002). Acalculia and Dyscalculia. *Neuropsychology Review*, Vol.12, No.4.
- [7] Arzy, S., Adi-Japha, E. & Blanke, O. (2009). The mental time line : An analogue of the mental number line in the mapping of life events. *Consciousness and Cognition*, 18, 781-785.
- [8] Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N. & Henik, A. (2009). Numerical distance effect in developmental dyscalculia. *Cognitive Development*, 24, 387-400.
- [9] Bachkine, S. (1989). Relationship between primitive reflexes, extrapyramidal signs, reflective apraxia and severity of cognitive impairment in dementia of the Alzheimer type. *Acta Neurol Scan*, 79, 38-46.

- [10] Bakchine, Serge. & Habert, M.O. (2007). Classification des démences :aspects nosologiques. *Medecine Nucleaire*, vol. 3, 278-293.
- [11] Barbara, J.G., Castets, F., Poncer, J.C. & Buée, L. (2007). Maladie d'Alzheimer. *La lettre des neurosciences*, n°33, 7-14.
- [12] Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and ressource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 83-100.
- [13] Barth, H., Kanwischer, N. & Spelke, E. (2003-2005). The construction of large number representations in adults. *Cognition*, 86, 201-221.
- [14] Basso, A. & Beschine, N. (2000). Number Transcoding and Number Word Spelling in a Left-Brain-Damage Non-aphasic Acalculic Patient. *Neurocase*, Vol.6, 129-139.
- [15] Benson, D.F. & Denckla, M.B. (1969). Verbal paraphasia as a cause of calculation disturbances. *Archives of Neurology*, 21, 96-102.
- [16] Bherer, L., Belleville, S., Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence frontotemporale. *Psychol NeuroPsychiatr Vieillesse*, vol.2, n°3, 181-189.
- [17] Blanken, G., Dorn, N. & Sinn, H. (1997). Inversion Errors in Arabic Number Reading: Is There a Nonsemantic Route? *Brain and Cognition*, 34, 404-423.
- [18] Brannon, E.M., & Terrace, H.S. (1998). Ordering of the numerosities 1-9 by monkeys. *Science*, 282, 746-749.
- [19] Campbell, J.I.D, Clark, J.M. (1988). An encoding-complex view of cognitive number processing: comment on Mc Closkey, Sokol and Goodman (1986). *Journal of experimental Psychology : general*, 117, 204-214.

- [20] Campbell, J.I.D. & Clark, J.M. (1991). Integrated versus modular theories of number skills and acalculia. *Brain & Cognition*, 17, 204-239.
- [21] Campbell, J.I.D (1994). Architectures for numerical cognition. *Cognition*, 53, 1- 44.
- [22] Cantlon, J.F., Libertus, M.E., Brannon, E.M. & Pelphrey, K.A.(2009). The Neural Development of an Abstract Concept of Number. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(11), 2217-2229.
- [23] Cappelletti, M., Freeman, E.D. & Cipolotti, L. (2009). Dissociations and interactions between time, numerosity and space processing, *Neuropsychologia*, 47(13-10), 2732-2748.
- [24] Cappelletti, M., Butterworth, B.,& Kopelman, M. (2012). Numeracy skills in Patients with Degenerative Disorders and Focal Brain Lesions: A neuropsychological Investigation. *Neuropsychology*, vol 26, n°1, 1-19.
- [25] Carlomagno, S., Iavarone, A., Nolfè, G., Bourène, G., Martin, C. & Deloche, C. (1999), Dyscalculia in the early stages of Alzheimer's disease. *Acta Neurologica Scandinavia*, 99, 166-174.
- [26] Chen, Q. & Verguts, T. (2010). Beyond the number mental line: A neural network model of number-space interactions. *Cognitive Psychology*, 60, 218-240.
- [27] Chételat, G. & Lalevée, C. (2013). Pertes de mémoire : Normales ou pas ? *L'essentiel de Cerveau et Psycho*, 20-28.
- [28] Chochon, F., Cohen, L., Van de Moortele, P., & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *J. Cogn. Neurosci.* 11, 617–630.
- [29] Cipolotti, L. (1995). Multiple routes for reading words, why not numbers? Evidence from a case of Arabic numeral dyslexia. *Cog Neuropsychologia*, 12, 313-342.

- [30] Cipolotti, L., Warrington, E.K. & Butterworth, B. (1995). Selective Impairment In Manipulating Arabic Numerals. *Cortex*, 31, 73-86.
- [31] Cipolotti, L. & Thioux, M. (2004). Troubles du calcul et du traitement des nombres: les travaux fondateurs. In Pesenti M, Seron X (Ed.), *La cognition numerique. Hermes Science*, 23-44.
- [32] Cohen, L., Dehaene, S. & Vesichel, P. (1994). Number words and number non-words. A case of deep dyslexia extending to Arabic numerals. *Brain*, 117, 267-279.
- [33] Cohen-kadosh, R., Cohen-Kadosh, K., Kaas, A., Henik, A. & Goebel, R. (2007). Notation-Dependent and Independent Representations of Numbers in the Parietal Lobes. *Neuron*, 53, 307-314.
- [34] Cohen-Kadosh, R., Brodsky, W., Levin, M. & Henik, A. (2008). Mental representation: what can pitch tell us about the distance effect? *Cortex*, 44, 470-477.
- [35] Cohen-Kadosh, R. (2008). Numerical representation: Abstract or nonabstract? *The quarterly journal of experimental psychology*, 61(8), 1160-1168.
- [36] Cohen-Kadosh, R. & Walsh, V. (2009). Numerical representation in the parietal lobes: Abstract or not abstract? *Behavioral and Brain Science*, 32, 3/4.
- [37] Collette, F., Van der Linden, M., & Salmon, E. (1999). Executive dysfunction in Alzheimer disease. *Cortex*, 35, 57-72.
- [38] Damian, M.F. (2004). Asymmetries in the Processing of Arabic Digits and Number Words. *Memory and Cognition*, vol.32, 164-171.
- [39] Daar, M. & Pratt, J. (2008). Digits affect actions : the SNARC effect and response selection. *Cortex*, 44, 400-405.

- [40] Dartigues, J.F. (2013). Comment améliorer la prévention? *L'essentiel cerveau et psycho*, 50-54.
- [41] Dehaene, S. (1992). Le modèle du triple code. *Cognition*.
- [42] Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44:1-42.
- [43] Dehaene, S. & Mehler, J. (1992). Cross-Linguistic Regularities in the Frequency of Number Words. *Cognition*, 43, 1-29.
- [44] Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396.
- [45] Dehaene, S. & Cohen, L. (1994). Dissociable mechanisms of subitizing and counting: Neuropsychological evidence from simultanagnosic patients. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, Vol.20, n°5, 958-975.
- [46] Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- [47] Dehaene, S. & Akhavein, R. (1995). Attention, Automaticity and levels of representation in number processing. *J.Exp.Psychol.learn.Mem.Cogn*, 21, 314-326.
- [48] Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends Neuroscience*, 21, 355–361.
- [49] Dehaene, S., Spelke, E., Stanescu, R., Pinel, P., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284, 970-974.
- [50] Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber-Fechner law: a logarithmic mental number line. *TRENDS in Cognitive Sciences*, vol.7, n°4, 145-147.

- [51] De Hevia, M.D., Girelli, L., Bricolo, E. & Vallar, G. (2008). The representational Space of numerical magnitude : Illusions of length. *The quarterly journal of experimental psychology*, 61(10), 1496-1514.
- [52] Delazer, M., Karner, E., Proell, S. & Benke, T. (2006). Counting complexe dot patterns in Alzheimer's Disease. *Journal of Clinical Experimental Neuropsychology*, 28, 721-731.
- [53] Della Sala, S., Gentileschi, V., Gray, C. & Spinnler, H. (2000). Intrusion errors in numerical transcoding by Alzheimer patients. *Neuropsychologia*, 38, 768-777.
- [54] Deloche, G. & Seron, X. (1982). From one to 1: An analysis of a transcoding process by means of neuropsychological data. *Cognition*, 12, 119-149.
- [55] Deloche, G. & Seron, X. (1982). From three to 3: A differential analysis of skills in transcoding quantifies between patients with broca's and Wernicke's aphasia. *Brain*, 105: 719-733.
- [56] Deloche, G. & Seron, X. (1987). Numerical transcoding : a general production model. In : Deloche, G., Seron, X., editors. *Mathematical disabilities : a cognitive neuropsychological perspective*. Hillsdale, NJ : *Lawrence Erlbaum Associates, Inc*, 137-70.
- [57] Deloche, G., Seron, X., Larroque, C., Magnien, C., Metz-lutz M.N. & Noël, M.N. (1994). Calculation and number processing: Assessment battery; role of demographic factors. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16 (2):195-208.
- [58] Deloche, G., Hannequin, D., Carlomagno, S., Agniel, A., Dordain, M., Pasquier, F., Pellat, J., Denis, P., Desi, M., Beauchamp, D., Metz-Luz, M-N., Cesaro, P. & Seron, X. (1995). Calculation and number processing in mild Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 634-639.
- [59] Dubois, B. Un diagnostic plus spécifique et précoce. (2013). *Cerveau et Psycho*, n°13, 20-28.

- [60] Duyckaerts, C. (2013) Le cerveau malade à la loupe. *L'essentiel de cerveau et psycho*, 34-42.
- [61] Eger, E., Sterzer, P., Russ, M.O, Giraud, A.L. & Kleinschmidt, .(2003). A supramodal number representation in human intraparietal Cortex. *Neuron*, 37, 719-725.
- [62] Eriksen, C.W., Pollack, M.D., & Montague, W.E. (1970). Implicit speech: Mechanism in perceptual encoding? *Journal of Experimental Psychology*, 84, 502-507.
- [63] Eustache, F., Agniel, A., Dary, M., Viillard, G., Puel, M., Démonet, J.F, Rascol, A. & Lechevallier, B. (1993). Sériation chronologique des symptômes comportementaux et instrumentaux dans les démences de type Alzheimer. *Revue de Neuropsychologie*, 3, 37-61.
- [64] Folstein, M.F., Folstein, S.E. & McHugh, P.R. (1975). Mini mental state. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.
- [65] Fuld, P.A., Katzman, R., Davies, P. & Terry, RD. (1982). Intrusions as a sign of Alzheimer dementia: chemical and pathological verification. *Annals of Neurology*, 11, 155-159.
- [66] Gilmore, C.K. & Mc Carthy, S.E. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447, 589-591.
- [67] Girelli, L., Luzzati, C., Annoni, G. & Vecchi, T. (1999). Progressive decline of numerical skills in Alzheimer-type dementia : A case study. *Brain and Cognition*, 40, 132-136.
- [68] Girelli, L. & Delazer, M. (2001). Numerical abilities in demantia. *Aphasiology*, 15, 681-694.
- [69] Grady, C.L., Haxby, J.V., Horwitz, B., Sundaram, M., Berg, G., Schapiro, M., Friedland, R.P. & Rapoport, S.I. (1988). Longitudinal study of the early neuropsychological and cerebral metabolic changes in dementia of the Alzheimer type. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10, 576-596.

- [70] Grafman, J., Kempen, D., Rosenberg, J., Salazar, A.M., & Boller, F. (1989). The progressive breakdown of number processing and calculation ability: A case study. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 25, 121–133.
- [71] Guériot-Milandre, C., Semprez, C. & Poncet, M. (1997). Maladie d'Alzheimer. *Médecine thérapeutique*. 3(5):343-352.
- [72] Halpern, C., McMillan, C., Moore, P., Dennis, K. & Grossman, M. (2003). Calculation impairment in neurodegenerative diseases. *Journal of the Neurological Sciences*, 208, 31-38.
- [73] Holloway, I.D. & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols : The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 17-29.
- [74] Izard, V., Pica., P., Spelke, E. & Dehaene, S. (2008). Comment les nombres se répartissent dans l'espace, une intuition originelle logarithmique. *M/S*, n°12, vol 24, 1014-1016.
- [75] Kalbe, E., Kessler, J., Brand, M., Mielke, R. & Heiss, W.D. (2000). Acalculia in Alzheimer's disease and other dementias - patterns of deterioration. *Neurobiology of Aging*, 1-21.
- [76] Kalbe, E. & Kessler, J. (2002). Zahlenverarbeitungs- und Rechenstörungen bei Demenzen. *Z Gerontol Geriat*, 35, 88-101.
- [77] Kaufmann, L., Montanes, P., Jacquier, M., Matallana, D., Eibl, G. & Delazer, M. (2002). About the relationship between basic numerical processing and arithmetics in early Alzheimer's disease- A follow up study. *Brain and Cognition*, 48, 398-405.
- [78] Kessler, J. & Kalbe, E. (1996). Written numerical transcoding in patients with Alzheimer's disease. *Cortex*, 32, 755-761.
- [79] Kiefer, M. & Dehaene, S. (1997). The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition*, 3, 1-30.

- [80] Klapp, S. (1971). Implicit speech inferred from response latencies in same-different decisions. *Journal of Experimental Psychology*, 91, 262-267.
- [81] Lafleche, G. & Albert, M.S. (1995). Executive function deficits in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 9, 313-320.
- [82] Lefebvre, L. & Pruvost, C. (2010). Langage et nombre chez des sujets atteints de démence de type Alzheimer : aspects syntaxiques et lexico-sémantiques. *Glossa*, n°18, 30-52.
- [83] Lipton, J.S. & Spelke, E.S. (2005). Preschool children's mapping of number words to nonsymbolic numerosities. *Child Development*, 76, 978-988.
- [84] Logan, G.D., & Klapp, S.T. (1991). Automatizing alphabet arithmetic: Is extended practice necessary to produce automaticity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 179-195.
- [85] Macoir, J., Audet, T., Lecomte, S. & Delisle, J. (2002). From "cinquante-six" to "5quante-six": The origin of intrusion errors in a patient with probable Alzheimer Disease. *Cognitive Neuropsychology*, 19(7), 579-601.
- [86] Mantovan, M.C., Delazer, M., Ermani, M., & Denes, G. (1999). The breakdown of calculation procedures in Alzheimer's disease. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 35, 21-38.
- [87] Martin, R.C., Annis, S.M., Darling, L.Z., Wadley, V., Harrell, L. & Marson, D.C. (2003). Loss of calculation abilities in patients with mild and moderate Alzheimer disease. *Arch Neurol*, 60, 1585-1589.
- [88] McCloskey, M., Caramazza, A. & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain Cognition*, 4, 171-196.

- [89] Mc Closkey, M. (1992). Cognitive mechanism in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107-157.
- [90] Menon, V., Rivera, S.M., White, C.D., Glover, G. & Reiss, A.L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *Neuroimage*, 12(4), 357-365.
- [91] Morris, R.G. (1994). Working memory in Alzheimer-type dementia. *Neuropsychology*, 8, 544-554.
- [92] Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgement of inequality. *Nature*, 215, 1519-1520.
- [93] Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex* 11, 966–974.
- [94] Nieder, A. & Miller, E.K. (2003). Coding of cognitive magnitude: compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex. *Neuron*, 37, 149–57.
- [95] Nieder, A., & Miller, E.K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(19), 7457-7462.
- [96] Nieder, A., Diester, I. & Tudusciuc, O. (2006). Temporal and spatial enumeration processes in the primate parietal cortex. *Science*, 313, 1431–35.
- [97] Nieder, A. & Merten, K. (2007). A labeled-line code for small and large numerosities in the monkey prefrontal cortex. *J Neuroscience*, 27(22), 5986-5993.
- [98] Nieder, A. & Dehaene, S. (2009). Representation of Number in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 185-208.

- [99] Nieder, A. (2012). Supramodal numerosity selectivity of neurons in primate prefrontal and posterior parietal cortices. *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 109, n°29, 11860-11865.
- [100] Noël, M.P. & Seron, X. (1993). Arabic number reading deficit : A single case study or when 236 is read «2306» and judged superior to 1258. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 317-339.
- [101] Noël, M.P. & Seron, X. (1995). Lexicalization errors in writing Arabic numerals: a single case study. *Brain and cognition*, 29, 151-179.
- [102] Pansky, A. & Algom, D. (2002). Comparative judgment of numerosity and numerical magnitude: attention preempts automaticity. *J.Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 28, 259–274.
- [103] Pérès, K., Helmer, C., Amieva, H., Orgogozo, J.M, & al. (2008). Natural history of decline in instrumental activities of daily living performance over the 10 years preceding the clinical diagnosis of dementia: a prospective population-based study. *Journal of the American Geriatrics Society* 56(1):37-44.
- [104] Peritz, G. (1918). Zur Pathopsychology des Rechnens. *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde*, 61, 234-340.
- [105] Perry, R. & Hodges, J.R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease. *Brain*, 122, 383-404.
- [106] Pesenti, M., Seron, X. & Van der Linden, M. (1994). Selective impairment as evidence for mental organisation of arithmetical facts: BB, a case of preserved subtraction? *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 30, 661–671.
- [107] Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X. & De Volder, A. (2000). Neuroanatomical substrate of Arabic number processing, numerical comparison and simple addition: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (3), 461-479.
- [108] Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietalsulcus. *Neuron*, 44, 547–555.

- [109] Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D. & Le Bihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage*, 14 (5), 1013-1026.
- [110] Pruvost, C. & Lefebvre, L. (2010). Langage et nombre chez des sujets atteints de démence de type Alzheimer : aspects syntaxiques et lexico-sémantiques. *Glossa*, n°108 30-52.
- [111] Rosselli, M. & Ardila, A. (1989). Calculation deficits in patients with right and left hemisphere damage. *Neuropsychologia*, 27: 607-618.
- [112] Rousseau, T., Gatignol, P. (2013). L'apport de l'orthophonie. *L'essentiel Cerveau et Psycho*. 62-66.
- [113] Schwarz, W. & Ischebeck, A. (2000). Sequential effects in number comparison. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform*, 26, 1606–1621.
- [114] Seron, X. & Deloche, G. (1983). From 4 to four: A supplement to “from three to 3”. *Brain*, 735-744.
- [115] Seron, X. & Deloche, G. (1984). From 2 to two: An analyse of a transcoding process by means of neuropsychological evidence. *J. Psychol. Res*, 13: 215-235.
- [116] Seron, X., Deloche, G., Ferrand, I., Cornet, J.A., Frederix, M. & Hirsbrunner, T. (1991). Dot counting by brain damaged subjects. *Brain and cognition*, 17, 116-137.
- [117] Seron, X. & Noël, M.P. (1995). Transcoding Numbers from the Arabic Code to the Verbal One or Vice Versa: How many Routes? *Mathematical Cognition*, 1 (2), 215-243.
- [118] Schwarz, W. & Ischebeck, A. (2000) Sequential effects in number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 26, 1606-1621.
- [119] Sorel, O. & Pennequin, V. (2007). Aging of the Planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition*, In Press, Corrected Proof, 196-201.

- [120] Stanesco-Cosson, R., Pinel, P., Van de Moortele, P.F., Le Bihan, D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2000). Cerebral bases of calculation processes: Impact of number size on the cerebral circuits for exact and approximate calculation. *Brain*, 123, 2240–2255.
- [121] Swanberg, M.M., Tractenberg, R.E., Mohs, R., Thal, L.J. & Cummings, J.L. (2004). Executive dysfunction in Alzheimer Disease. *Arch Neurol*, 61, 556-560.
- [122] Tan, S. & Dixon, P. (2011). Repetition and the SNARC effect with one- and two-digit numbers. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, vol.65, No.2, 84-97.
- [123] Tegnér, R. & Nybäck, H. (1990). « To hundred and twentyfour »: a study of transcoding in dementia. *Acta Neurologica Scandinavia*, 81, 177-178.
- [124] Thioux, M., Seron, X., Turconi, E., Ivanoiu, A. (1999). Intrusions of the verbal code during the production of Arabic numerals : a single case study in a patient with probable Alzheimer's disease. *Cognitive Neuropsychology*, vol.16, n°8, 749,773 (25).
- [125] Tran, T.M., Dasse, P., Letellier, L., Lubjinkowic, C., They, J. & Mackowiak, M.A. (2012). Les troubles du langage inauguraux et démence : étude des troubles lexicaux auprès de 28 patients au stade débutant de la maladie d'Alzheimer. *SHS Web of Conferences*, 5;1: 1659-1672.
- [126] Vuillemier, P., Ortigue, S. & Brugger, P. (2004). The number space and neglect. *Cortex*, 40, 399-410.
- [127] Whalen, J., Gallistel, C. R. & Gelman, R. (1999). Non-verbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science*, 10, 130-137.
- [128] Wynn, K. (1992). Children's Acquisition of the Number Words and the Counting System. *Cognitive Psychology*, 24, 220-251.

- [129] Anderson, J.R. (1993). *The rules of the mind*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- [130] Anderson, J. R., & Lebière, C. (1998). *Atomic components of thought*. Mahwah, NJ : Erlbaum
- [131] Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford, U.K : Oxford university press.
- [132] Baddeley, A.D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- [133] Boller, G., Dalla Barba, P., Marcie, & Traykov, L. (1996). La neuropsychologie de la maladie d'Alzheimer et autres démences. In M. I. Botez (Ed.), *Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement* (Vol. 682). Montréal : Les presses de L'Université de Montréal, Masson.
- [134] Cardebat, D., Aithamon, B. & Puel, M. (1995) *Les troubles du langage dans les démences de type Alzheimer*. In F. Eustache & A. Agniel (Eds.), *Neuropsychologie clinique des démences : Evaluation et prises en charge* (pp. 213-223).Marseille: Solal.
- [135] Dehaene, S. (1997). *La bosse des maths*. Paris : Edition Odile Jacob.
- [136] Dehaene, S., Cohen, L. (2000). *Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale*. In Pesenti, M., Seron, X. (Eds). *Neuropsychologie du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal, 191-232.
- [137] Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths, 15 ans après*. Paris : Odile Jacob.
- [138] Deloche, G. & Seron, X. (1987). Numerical transcoding: A general production model. In Deloche, G. & Seron, X. (Eds.). *Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective* (pp. 137-170). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [139] Derouesné, C., Selmès, J. (2005). *La maladie d'Alzheimer*. Montrouge : J. Libbey Eurotext.

- [140] Gelman, R. & Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [141] Glosser, G., Baker, K.M., De Vries, J.J., Alavi, A., Grossman, M. & Clark, C.M. (2002). Disturbed visual processing contributes to impaired reading in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 40, 902-909.
- [142] Glosser, G., Henderson, V.W. (2013). *Writing Impairments in Alzheimer's Disease*. In: Connor, L.T., Obler, L.K., editors. *Neurobehavior of Language and Cognition* [Internet]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 77-91.
- [143] Juillerat, A.C., Van der Linden, M., Adam, S. & Seron, X. (2000). *La prise en charge des patients Alzheimer au stade débutant*. In Seron, X. & Van der Linden, M. (Eds.), *Traité de neuropsychologie clinique* (Vol. II, pp. 269-289). Marseille : Solal.
- [144] Lacomblez, L., Mahieux-Laurent, F. (2003). *Les démences du sujet âgé*. Montrouge : J. Libbey Eurotext.
- [145] Laisney, M. (2007). *La mémoire sémantique dans la maladie d'Alzheimer, la démence sémantique et la variante frontale de la démence fronto-temporale*. Thèse de doctorat, Université de Caen
- [146] Pellissier, J. (2010). *Ces troubles qui nous troublent: les troubles du comportement dans la maladie d'Alzheimer et les autres syndromes démentiels*. Toulouse : Érès.
- [147] Saad, L. (2011). *Transcodage des nombres chez l'enfant : Approche développementale inter-linguistique et différentielle*. Thèse de doctorat de psychologie, Université de Bourgogne, 245 pages.
- [148] Siegler, R.S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. Oxford, England: Oxford University Press.
- [149] Seron, X. & Pesenti, M. (2004). *La cognition numérique*. Paris : Lavoisier.

Liste des annexes : sommaire

Annexe 1 : Guide d'utilisation de l'ECAN

Annexe 2 : Description détaillée des épreuves utilisées en transcodage

Annexe 3 : Page de renseignements

Annexe 4 : Extraits du livret de passation (Les documents sont réduits par rapport à leur taille réelle dans le protocole d'évaluation)

Annexe 5 : Protocole du Mini Mental State of Examination (version consensuelle du GRECO)

Annexe 6 : Critères diagnostiques de la démence de type Alzheimer, DSM-IV-TR

Annexe 1 : Guide d'utilisation de l'ECAN

Guide d'utilisation ECAN

L'ECAN, nouvel outil d'Evaluation Clinique des Aptitudes Numériques chez les sujets adultes, a été développé en se référant aux modèles théoriques de McCloskey et Caramazza, (1985), Dehaene et Cohen, (1992) et Deloche et Seron, (1987) ainsi qu'à partir des travaux de Delazer et al, (2003).

Quatre grands thèmes sont explorés dans ce test : les Nombres, les Transcodages, le Calcul et la Connaissance usuelle des nombres.

Les épreuves sont chronométrées, elles permettent à la fois une analyse quantitative et qualitative des résultats. Enfin la reprise d'items communs dans différents types de transcodages et de modalités (orale ou écrite) permet de croiser les résultats.

La passation s'effectue à l'aide de quatre supports :

- un livret de passation,
- un cahier examinateur, qui précise les consignes et permet le recueil des réponses orales et la cotation des différentes épreuves,
- un cahier patient destiné au recueil des réponses écrites du patient,
- un sachet de 50 jetons nécessaires pour la partie transcodage.

La population

Les témoins sélectionnés doivent répondre aux critères du GREFEX, c'est-à-dire être francophones, consentants et indemnes d'antécédents neurologiques ou psychiatriques, d'illettrisme, de troubles développementaux (langage et apprentissages), de troubles sensitifs (auditifs ou visuels) non corrigés et ne pas présenter de déficit à l'examen de Folstein sur l'état mental (Mini Mental State) Nous faisons passer l'ECAN aux témoins présentant un score au MMS $\geq 24/30$ conformément aux recommandations de la HAS.

On retient 4 tranches d'âge : 18-39 ans, 40-54 ans, 55-69 ans et au-delà de 70 ans.

Le niveau socioculturel est déterminé selon le Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois (ROME) associant le niveau d'études et la profession :

- Niveau 1 = ouvrier qualifié et non qualifié (absence de diplôme ou Certificat d'étude ou Brevet des collèges ou CAP ou BEP),
- Niveau 2 = employé, technicien, profession intermédiaire (Baccalauréat professionnel ou Baccalauréat général ou Baccalauréat + 2 ans d'études),
- Niveau 3 = ingénieurs, cadres, (avec diplôme correspondant au Baccalauréat + de 3 ans d'études).

Chronométrage

Pour l'ensemble des épreuves, le chronomètre doit être déclenché à la fin de la consigne et arrêté après la dernière production du patient.

Quand la consigne comporte un ou des exemples, ceux-ci ne sont pas décomptés dans le temps, le chronomètre n'est déclenché qu'après avoir donné le ou les exemples.

L'examineur peut ajouter « On-y-va » ou « vous pouvez commencer » juste avant de déclencher le chronomètre.

Temps

Le temps est exprimé en secondes. On ne prend pas en compte les dixièmes de seconde. On suit les règles d'arrondis suivantes :

1,0 - 1,1 - 1,2 - 1,3 et 1,4 secondes sont arrondis à l'unité inférieure soit 1 seconde,

1,5 - 1,6 - 1,7 - 1,8 - 1,9 secondes sont arrondis à l'unité supérieure soit 2 secondes.

Les temps en minutes sont convertis en secondes pour les calculs des temps totaux.

Cotation

Si le patient répond correctement, l'examineur compte le point.

Si le patient fait des autocorrections spontanées, on compte le point mais on le note dans les commentaires afin de pouvoir exploiter qualitativement cette information.

Si le patient commet une erreur, s'il se répète, s'il omet une réponse ou s'il ne respecte pas la consigne, on ne compte pas le point.

En cas d'erreur, on note la production du patient afin de permettre une analyse qualitative.

Scores : Les épreuves comportent de 5 à 25 items. Les notes maximum vont donc de 5 à 25 selon les épreuves. L'examineur additionne tous les scores d'une même catégorie afin d'obtenir un score total. Des tableaux récapitulatifs des scores et des temps sont disponibles dans le cahier examinateur (pages 9, 14, 23 et 26).

Données qualitatives

Afin de permettre une analyse qualitative, on note les comportements tels que :

- Répétition du Sujet: RS
- Répétition de l'Examineur: RE.
- Autocorrection : AC°
- Temps de Latence : TL
- Lecture à Haute Voix : LHV (quand ce n'est pas demandé).

La partie « commentaires » permet à l'examineur de noter toutes ses observations pendant la passation et de proposer une interprétation des erreurs.

Manipulation du livret de passation

L'examineur tourne lui-même les pages du livret, et les présente au patient en format portrait.

Passation des épreuves

A. Nombres

A1a, b, c et d - Comptage oral

Cotation / Analyse qualitative

- Si le patient omet un nombre, il perd un point.
- Si le patient se répète « 10, 11, **11**, 12, 13, 14, 15 », on ne lui enlève qu'un point.
- Si le patient ne respecte pas les bornes données, on n'enlève pas de point mais on le note dans l'analyse qualitative.

Par ex. pour l'épreuve A1a, si le patient compte « 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 » jusqu'à 15 cela signifie qu'il n'arrive pas à compter à partir d'une borne, ou bien il n'arrive pas à s'arrêter à la borne supérieure : exemple A1a « 10, 11, 12 ,13 ,14 ,15 ,**16** ».

A2 - Dénombrement

Passation : Le cahier de passation doit être présenté en format portrait. L'examineur tourne la page une fois que le sujet a donné sa réponse.

Cotation / Analyse qualitative : l'examineur note la stratégie utilisée par le patient (correspondance terme à terme, comptage à haute voix, pointage, sens du dénombrement...)

A3a et b - Compréhension des nombres

Cotation / Analyse qualitative : en cas d'erreur, noter le nombre désigné à la place de l'item cible afin d'analyser par la suite le type d'erreur (erreurs phonologique, syntaxique, lexicale).

A5a et b - Jugement de grandeur entre deux numéraux arabes / deux numéraux verbaux écrits

Cotation / Analyse qualitative : préciser si le sujet lit les items à haute voix.

A5c - Jugement de grandeur entre deux numéraux verbaux oraux

Passation : proposer oralement au patient les deux nombres en faisant une légère pause entre ces deux derniers. Ne pas employer les termes « versus » ni « et ». Exemple « 6...9 ».

Cotation / Analyse qualitative : préciser qualitativement si le patient ne donne que la partie pertinente, exemple pour : « 26 **222** vs 26 **224** ? », il répond « **224** ». Le point est tout de même accordé.

A6 - Placement d'un nombre arabe sur une échelle de 0 à 100

Indication de cotation / Analyse qualitative : l'examineur note dans la case réponse le numéro correspondant au trait désigné par le patient (1, 2, 3 ou 4). Un point est accordé si la marque correspond à la cible. Si le pointage du patient se trouve entre deux marques, on lui demande de préciser sa réponse.

B. Transcodages

Pour l'ensemble des épreuves de Transcodage

Analyse qualitative, dans les commentaires, on détaille le plus possible la nature des erreurs produites par le patient :

- erreurs lexicales, le nombre de chiffres est respecté mais pas le lexique, ex. 43 => 53,
- erreurs syntaxiques, le lexique est respecté mais pas la syntaxe,
 - le nombre de chiffres n'est pas respecté,
 - lexicalisations, ex. 85 => 4205, le mot est segmenté et transposé tel qu'il est entendu,
 - ajout de zéros, ex 245 => 20405, 20045, 200405
 - chiffres manquants, 2543 → 243,
 - ajout de 1 pour cent ou mille,
- erreurs phonologiques, 14 pour 40, 13 pour 16, 6 pour 10, ici, c'est le traitement phonologique qui induit en erreur,
- erreurs mixtes, lexicales et syntaxiques, ex 347=> 3148

B3 à B6

Passation : l'examineur donne son livret au patient pour le recueil des données écrites. On rassurera le patient en lui précisant que nous ne lui faisons pas passer un test d'orthographe.

B4-Ecriture sous dictée de numéraux verbaux écrits / B5- Ecriture de numéraux verbaux écrits à partir de nombres arabes

Cotation / Analyse qualitative : dès que la transcription correspond phonétiquement au nombre dicté ou écrit, le point est accordé. Les erreurs de nature orthographique sont relevées pour une analyse qualitative.

B8 – Etablissement d'un schéma de jetons correspondant à un nombre dit oralement

Passation : l'examineur donne au patient l'intégralité des jetons sans les trier par valeur. Les jetons doivent tous être mélangés. L'examineur laisse le patient trier les jetons, si ce dernier en exprime le besoin, avant de commencer l'épreuve. Dans ce cas, on note la stratégie du patient en commentaire.

Règles orthographiques sur l'écriture des nombres

1/ Les nombres qui s'écrivent en un seul mot

- Les nombres jusqu'à seize,
- Les dizaines jusqu'à soixante,
- Cent et mille

2/ Les nombres qui s'écrivent avec un trait d'union

- Tous les nombres inférieurs à 100 excepté ceux qui comportent un « et » : **dix-sept ; quarante-trois ; quatre-vingt-un,**

3/ Les nombres qui s'écrivent avec la conjonction de coordination "et"

- Tous les nombres qui se terminent par 1 (sauf 81 et 91) : **vingt et un ; quarante et un ; soixante et onze**

4/ Les accords :

Vingt et cent s'accordent quand ils sont multipliés par un nombre sans être suivis par un autre nombre.

- Quatre-vingts
- Quatre-vingt-deux
- Deux cents
- Deux cent six

C. Calcul

C1 – Calcul mental sur les faits arithmétiques et sur les règles

Passation : proposer au patient les additions, les soustractions, les multiplications et les divisions avec le support sous les yeux. Entre chaque sous partie, préciser au patient que le type d'opération va changer et lui en indiquer la nature. Exemple : « Maintenant, nous allons passer aux soustractions ».

Cotation / Analyse qualitative : les règles arithmétiques sont en grisés dans le cahier de l'examineur et peuvent l'aider à repérer les erreurs caractéristiques.

Il incombe à l'examineur de répertorier et d'analyser le type d'erreurs commises.

Règles algébriques pour l'analyse qualitative

1/ Additions :

- Neutralité du zéro ; $0 + n = n$

Exemple : $0 + 3 = 3$; $7 + 0 = 7$

2/ Soustractions :

- Neutralité du zéro ; $n - 0 = n$

Exemple : $4 - 0 = 4$; $1 - 0 = 1$

- La différence de tout nombre avec lui même est égale à 0 : $n - n = 0$

Exemple : $5 - 5 = 0$; $3 - 3 = 0$

3/ Multiplications :

- Neutralité du 1 ; $n \times 1 = n$

Exemple : $1 \times 6 = 6$; $5 \times 1 = 5$

- Le zéro est absorbant (ou absorbance du zéro) : $n \times 0 = 0$

Exemple : $4 \times 0 = 0$; $0 \times 8 = 0$

4/ Divisions :

- Neutralité du 1 ; $n : 1 = n$

Exemple : $7 : 1 = 7$; $8 : 1 = 8$

- Le quotient de tout nombre (à l'exception du 0) divisé par lui-même est égal à 1 ; $n : n = 1$

Exemple : $6 : 6 = 1$; $4 : 4 = 1$

C2 – Calcul mental

Passation : proposer au patient les additions, les soustractions, les multiplications et les divisions avec le support sous les yeux. Préciser au patient d'effectuer les calculs en allant de gauche à droite, ligne par ligne (et non pas de haut en bas, colonne par colonne).

C3 – Calcul écrit

Passation : L'examineur présente son livret au patient et déclenche le chronomètre.

Cotation / Analyse qualitative : un point est crédité quand le résultat final est correct. Dans d'autres tests, un point est crédité pour chaque étape du calcul. Pour plus de simplicité, nous avons donc choisi d'ignorer l'origine des erreurs. Les erreurs dans les étapes intermédiaires d'un calcul peuvent être ambiguës. Elles peuvent provenir :

- d'une mauvaise maîtrise des procédures (par exemple absence de retenue),
- d'erreur dans la récupération des faits arithmétiques.

Nous encourageons les examinateurs à noter toute observation pertinente.

C6a et b – Etudes des principes arithmétiques - additions et multiplications

Cotation / Analyse qualitative : dans les commentaires, on détaille le plus possible la nature des erreurs produites par le patient.

Règles algébriques pour l'analyse qualitative

5/ Règle de la commutativité (cela concerne les additions et les multiplications)

« si $a + b = c$ alors $b + a = c$ » ; « si $a \times b = c$ alors $b \times a = c$ »

Ex. : « $24 + 37 = 61$ alors $37 + 24 = 61$ » ; « $22 \times 31 = 682$ alors $31 \times 22 = 682$ »

6/ Règle de la réversibilité opératoire

Addition / soustraction « si $a + b = c$ alors $c - a = b$ » ;

Multiplication / division « si $a / b = c$ alors $c / b = a$ » et « b n'est pas égal à 0 ».

Ex. : « si $23 + 38 = 61$ alors $61 - 38 = 23$ » ; « si $71 / 9 = 639$ alors $639 / 9 = 71$ »

7/ Règle sur les additions répétées : $a \times b = (\Sigma a) b$ fois

Ex. : « si $64 \times 5 = 320$ alors $64 + 64 + 64 + 64 + 64 = 320$ »

8/ Règle : si $a + b = n$ alors $(a + 1) + b = n + 1$, ex « si $38 + 23 = 61$ alors $39 + 23 = 62$ ».

9/ Règle : si $a + b = n$ alors $(a - 1) + b = n - 1$, ex « si $48 + 13 = 61$ alors $47 + 13 = 60$ »

10/ Règle : $10a + 10b = 10(a + b)$, ex. : « si $37 + 18 = 55$ alors $370 + 180 = 550$ ».

11/ Règle : $10a \times 10b = 100a \times b$, ex. : « si $45 \times 8 = 360$ alors $450 \times 80 = 36\,000$ ».

12/ Règle : $(a - 1) \times b = (a \times b) - b$, ex. : « si $56 \times 8 = 448$ alors $55 \times 8 = 440$ ».

C7 – Résolutions de problèmes simples :

Passation : le patient peut noter ses opérations sur le brouillon prévu à cet effet.

Cotation / Analyse qualitative : si le patient n'indique pas les unités, le point est tout de même accordé.

D. Connaissances usuelles des nombres

D1 - Connaissance sémantique des nombres

Passation : le chronométrage est déclenché à la suite de la consigne générale « Je vais vous poser des questions d'ordre général. Vous devrez me donner une réponse exacte. », juste avant que l'examineur ne pose la première question : « Quelle est la date de la bataille de Marignan ? ».

D2 - Jugement de grandeur contextuelle

Passation : le chronométrage est déclenché à la suite de la consigne générale « Je vais vous exposer une quantité. Vous devrez me dire si cela fait "peu", "normal" ou "beaucoup" », juste avant que l'examineur ne pose la première question « Quinze pages pour un roman ? ».

Cotation : Accepter la réponse du patient pour les synonymes de « peu » (ex. pas assez), « normal » (ex. ça va), ou « beaucoup » (ex. trop).

D3 - Horloges

Cotation / Analyse qualitative : la notation des heures doit être la plus fidèle à la production orale du patient et doit être rapide. Pour cela la notation des réponses se fera en chiffres arabes avec les conventions d'écriture notées ci-dessous. Toutes les productions données en exemple sont comptées justes.

Convention d'écriture pour le recueil des heures données oralement par le patient

- moins : « - »
- et quart : « $\frac{1}{4}$ »
- et demi : « $\frac{1}{2}$ »
- trois quarts « $\frac{3}{4}$ »

Par exemple, pour 3h45, si le patient lit « trois heures quarante-cinq », on note 3h45 ; s'il dit « quatre heures moins le quart » on note 4h - $\frac{1}{4}$; « quatre heures moins quinze » on note 4h-15 ; pour « quinze heures quarante-cinq » on note 15h45 ; ou pour « seize heures moins le quart » 16h - $\frac{1}{4}$ et « seize heures moins quinze » on note 16h-15.

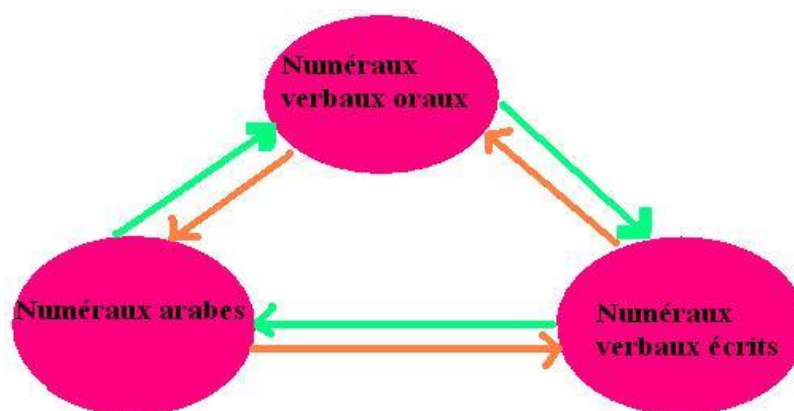
Annexe 2 : Description détaillée des épreuves utilisées en transcodage

A) Les épreuves de transcodage.

A.1. Rappel de ce qu'est le transcodage

Le transcodage, d'après la définition du Petit Robert 2009, c'est une traduction dans un code.

Une traduction, c'est l'énonciation dans une langue cible de ce qui a été énoncé dans une langue source en respectant les équivalences stylistiques et sémantiques.



On considère alors les mathématiques comme un langage à part entière au sein duquel le transcodage consiste au passage d'un « dialecte » à un autre.

Les épreuves utilisées visent à vérifier la maîtrise du transcodage aussi bien en production qu'en compréhension et pour des modalités aussi bien écrites qu'orales.

Au total, nous avons donc testé 6 types de transcodage auxquels s'ajoutent la valeur quantitative.

Nous avons au préalable vérifié les connaissances du système numérique grâce à des épreuves de comptage et de désignation de nombres.

Chaque épreuve s'accompagne d'un exemple afin d'éliminer des erreurs liées à la non compréhension de la consigne.

L'analyse des erreurs consistera en l'étude des composantes altérées (compréhension et/ou production) et du niveau de traitement atteint (lexical et/ou sémantique) pour une ou plusieurs modalités.

Les principales difficultés portent sur les niveaux de traitement :

→ Au niveau syntaxique :

▶ La présence d'irréguliers (13, 20 etc) et de dizaines composées (70, 80) à laquelle s'ajoute la présence d'opérateurs (1000 et 100)

→ Au niveau lexical :

▶ La présence de dizaines composées peut être source d'erreurs de lexicalisation (70 pouvant être transcrit 6010 par exemple)

▶ La présence de 0 intermédiaires qui peut entraîner des erreurs de lexicalisations, de choix de classe (130 600 pouvant être confondu avec 13 600 dans l'épreuve de désignation par exemple, ou encore 50 021 transcrit 5021)

A ces difficultés s'ajoutent des distracteurs propres au système numérique, tels que :

- **le nombre de phonèmes et de syllabes orales** (par exemple 27 999 en numéral verbal oral),
- **le nombre de lettres et de syllabes écrites** par exemple 3365 en numéral verbal écrit),
- **le nombre de chiffres** (numéraux arabes),
- **la régularité grapho-phonémique** (numéraux verbaux).

A.2. Description des épreuves de transcodage

A.2.1. De et vers les numéraux verbaux oraux

En réception

→ **Numéraux verbaux oraux vers numéraux verbaux écrits** :

- épreuve d'écriture sous dictée de numéraux verbaux écrits.

Consigne : « vous allez écrire en toutes lettres les nombres que je vais vous dicter »

→ **Numéraux verbaux oraux vers numéraux arabes :**

- épreuve d'écriture sous dictée de chiffres arabes.

Consigne : « vous allez écrire en chiffres les nombres que je vais vous dicter ».

En production

→ **Numéraux arabes vers numéraux verbaux oraux :**

- épreuve de lecture à haute voix de nombres arabes.

Consigne : « Vous allez lire à haute voix les nombres que je vais vous montrer ».

→ **Numéraux verbaux écrits vers numéraux verbaux oraux :**

- épreuve de lecture à haute voix de numéraux verbaux écrits.

Consigne : « Vous allez lire à haute voix les nombres que je vais vous montrer ».

A.2.2. De et vers les numéraux verbaux écrits

En réception

→ **Numéraux verbaux écrits vers numéraux verbaux oraux**, (se référer au point 2.1.2)

→ **Numéraux verbaux écrits vers numéraux arabes :**

- épreuve d'écriture de nombres arabes à partir de numéraux verbaux écrits.

Consigne : « Vous allez écrire en chiffres les nombres écrits sur cette page ».

En production

→ **Numéraux verbaux oraux vers numéros verbaux écrits**, (se référer au point 2.1.1)

→ **Numéraux arabes vers numéraux verbaux écrits :**

- épreuve d'écriture de numéraux verbaux écrits à partir de nombres arabes.

Consigne : « Vous allez écrire en toutes lettres les nombres arabes de cette page ».

A.2.3. De et vers les nombres arabes

En réception

→ **Numéraux arabes vers numéraux verbaux écrits**, (se référer au point 2.2.2)

→ **Numéraux arabes vers numéraux verbaux oraux**, (se référer au point 2.1.2)

En production

→ **Numéraux verbaux écrits vers numéraux arabes**, (se référer au point 2.2.1)

→ **Numéraux verbaux oraux vers numéraux arabes**, (se référer au point 2.1.1)

	Code verbal oral	Code verbal écrit	Code arabe
Code verbal oral	Répétition	Écriture sous dictée de numéraux verbaux écrits	Écriture sous dictée de nombres arabes
Code verbal écrit	Lecture à haute voix de numéraux verbaux écrits	Copie de numéraux verbaux écrits	Écriture de nombres arabes à partir de numéraux verbaux écrits
Code arabe	Lecture à haute voix de nombres arabes	Écriture de numéraux verbaux écrits à partir de nombres arabes	Copie de nombres arabes

Tableau 1 : récapitulatif du contenu et des modalités des épreuves de l'ECAN en transcodage.

La zone sélectionnée représente des épreuves mettant en jeu les modules suivants du modèle de McCloskey (Mémoire orthophonique de Charlotte BIGAND, 2009).

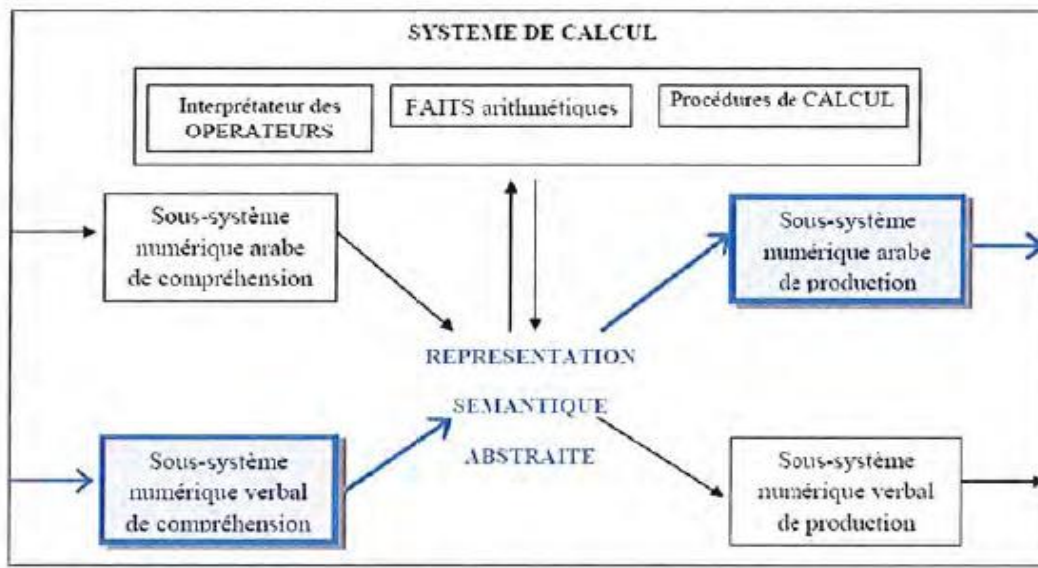


Figure 3 : Transcodage NV → NA dans le modèle de McCloskey et al.

La zone sélectionnée concerne les épreuves qui peuvent être identifiées ainsi dans le modèle de McCloskey (Mémoire orthophonique de Charlotte BIGAND, 2009)

A.2.4. De et vers la représentation quantitative

L'ECAN propose une modalité supplémentaire : la représentation des quantités qui représente le module suivant du modèle de McCloskey :

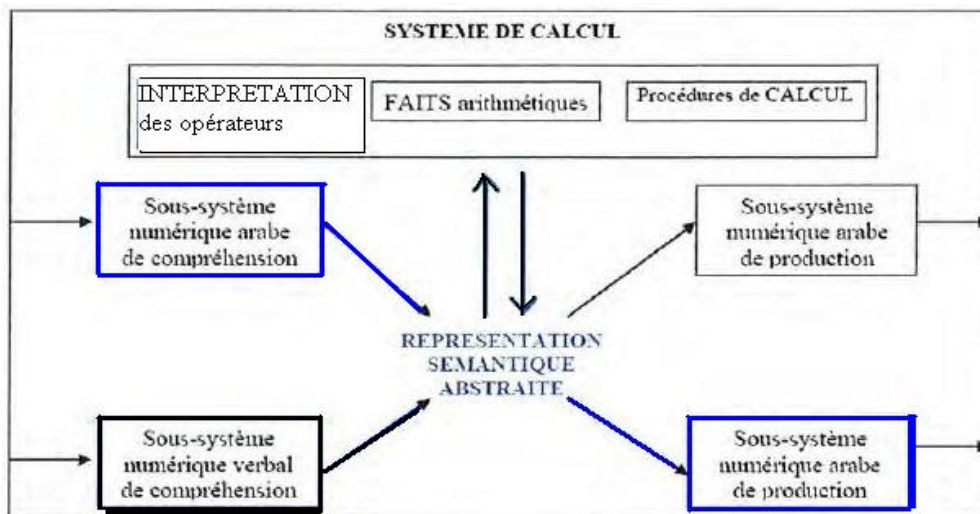


Figure : Transcodage numériques verbaux écrits vers valeur quantitative

Ces épreuves ont pour but de tester la représentation sémantique abstraite des quantités.

En compréhension

→ De la valeur quantitative vers un numéral arabe:

- épreuve de production de numéraux arabes à partir d'un schéma de jetons.

Consigne : « vous avez ici 3 différents type de jetons. Le carré rouge correspond au nombre 100, le grand rond jaune au nombre 10, le petit rond blanc au chiffre 1. Vous devez écrire en chiffre le nombre représenté par chaque schéma de jetons que je vais vous montrer ».

En production

→ **D'un numéral arabe vers la valeur quantitative :**

- épreuve d'établissement d'un schéma de jetons correspondant à un nombre écrit en chiffre arabe.

Consigne : « Vous allez me représenter avec les mêmes jetons le nombre écrit ».

e nombre sur la ligne en choisissant une des quatre graduations dessinées.

Le nombre est délivré en chiffre arabe.

Consigne : « Vous voyez ici une ligne représentant les nombres de 0 à 100. Comme vous le voyez, il y a quatre marques sur cette ligne. J'aimerais que vous me montriez la marque correspondant au nombre que je vais vous montrer... ».

Annexe 3 : page de renseignements

RENSEIGNEMENTS

Date de passation :

Temps total de passation :

RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Nom et Prénom :

Sexe : F / M

Adresse :

Latéralité :

Date de naissance :

Age :

Assuré social :

N° :

Caisse :

Date de l'examen :

Examineur :

Médecin prescripteur :

Médecin traitant :

RENSEIGNEMENTS MÉDICAUX

1. Diagnostic médical

2. Date d'apparition des troubles

3. ATCD de dyscalculie

4. Troubles associés :

Langage :

Mémoire de travail :

Héminégligence :

Profession :

NSC :

MMS :

Niveau 1 : ouvrier qualifié et non qualifié (absence de diplôme ou Certificat d'études ou Brevet des collèges ou CAP ou BEP) ;

Niveau 2 : employé, technicien, profession intermédiaire (Baccalauréat professionnel ou Baccalauréat général ou diplôme Baccalauréat + 2 ans d'études) ;

Niveau 3 : ingénieurs, cadres (avec diplôme correspondant au Baccalauréat + de 3 ans d'études).

Annexe 4 : Extraits du livret de passation

A2 Dénombrement



A5a Jugement de grandeur entre deux nombres

80

20

A3a Désignation de numéraux verbaux écrits

cinquante mille vingt et un	cinquante-quatre	quarante-cinq	onze
cinq mille vingt et un	deux cent quatre-vingt-six	soixante-dix	cent trente mille six cents
dix-neuf	quarante-trois	treize mille six cents	huit
trois cent vingt-six	deux cent quatre-vingt-dix	soixante-six	cent neuf

A3a Désignation de numéraux arabes

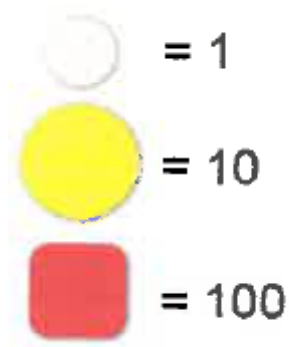
43	66	54	109
11	45	290	130 600
50 021	8	326	19
70	5 021	286	13 600

A6 Placement d'un numéral arabe sur une échelle de 0 à 100

Exemple



50



2	32
21	212
3	51
201	150
22	43
130	313

B7. Production de numéraux arabes à partir d'un schéma de jetons

B8. Etablissement d'un schéma de jetons correspondant à un nombre écrit en chiffres arabes

A3 - COMPRÉHENSION DES NOMBRES

SCORE TOTAL	100	TEMPS TOTAL	
----------------	-----	----------------	--

A3a - Désignation de nombres arabes

Consigne : « Sur cette page, montrez moi ... »

CIBLE	8	11	19	326	70
REPONSE					
CIBLE	5 021	43	290	54	13 600
REPONSE					

Commentaires : _____

SCORE	10	TEMPS	
-------	----	-------	--

A3b - Désignation de numéraux verbaux écrits

Consigne : « Sur cette page, montrez moi ... »

CIBLE	8	11	19	326	70
REPONSE					
CIBLE	5 021	43	290	54	13 600
REPONSE					

Commentaires : _____

SCORE	10	TEMPS	
-------	----	-------	--

A4 - JUGEMENT DE PARITÉ

SCORE TOTAL	10	TEMPS TOTAL	
-------------	----	-------------	--

Consigne : « Pour chacun des nombres que je vais vous donner, vous me direz s'il est pair ou impair »
Exemple : 2 et 5

CIBLE	18	52	3	35	28	43	6	15	467	156
REPONSE	P	P	I	I	P	I	P	I	I	P

Commentaires : _____

SCORE	10	TEMPS	
-------	----	-------	--

A5 - JUGEMENT DE GRANDEUR

SCORE TOTAL	60	TEMPS TOTAL	
-------------	----	-------------	--

A5a - Jugement de grandeur entre deux nombres arabes

Consigne : « Sur chaque page il y a deux nombres, montrez-moi le plus grand des deux »
Exemple : 7 vs 4

CIBLE	6 vs 9	12 vs 21	19 vs 14	97 vs 70	80 vs 20	6 vs 10	200 vs 102	120 vs 203	1 040 vs 4 000	189 vs 636
REPONSE										
CIBLE	9 016 vs 3 150	3 210 vs 2 310	256 vs 258	5 206 vs 5 204	73 352 vs 73 353	55 120 vs 55 102	90 803 vs 90 527	26 222 vs 26 224	40 100 vs 41 000	155 000 vs 150 500
REPONSE										

Commentaires : _____

SCORE	20	TEMPS	
-------	----	-------	--

A5b - Jugement de grandeur entre 2 numéraux verbaux écrits

Consigne : « Sur chaque page il y a deux nombres, montrez-moi le plus grand des deux »
 Exemple : sept vs quatre

CIBLE	6 vs 9	12 vs 21	19 vs 14	97 vs 70	80 vs 20	6 vs 10	200 vs 102	120 vs 203	1 040 vs 4 000	189 vs 636
REPONSE										
CIBLE	9 016 vs 3 150	3 210 vs 2 310	256 vs 258	5 206 vs 5 204	73 352 vs 73 353	55 120 vs 55 102	90 803 vs 90 527	26 222 vs 26 224	40 100 vs 41 000	155 000 vs 150 500
REPONSE										

Commentaires :

.....

.....

.....

SCORE	20	TEMPS	
-------	----	-------	--

A5c - Jugement de grandeur entre 2 numéraux verbaux oraux

Consigne : « Je vais vous dire deux nombres, dites moi quel est le plus grand des deux »
 Exemple : sept vs quatre

CIBLE	6 vs 9	12 vs 21	19 vs 14	97 vs 70	80 vs 20	6 vs 10	200 vs 102	120 vs 203	1 040 vs 4 000	189 vs 636
REPONSE										
CIBLE	9 016 vs 3 150	3 210 vs 2 310	256 vs 258	5 206 vs 5 204	73 352 vs 73 353	55 120 vs 55 102	90 803 vs 90 527	26 222 vs 26 224	40 100 vs 41 000	155 000 vs 150 500
REPONSE										

Commentaires :

.....

.....

.....

SCORE	20	TEMPS	
-------	----	-------	--

B3 - Ecriture sous dictée de nombres arabes

Consigne : «Vous allez écrire en chiffres les nombres que je vais vous dicter »

Exemple : quatre → « 4 »

2	9	13	20	44	51	195	307	469	701
883	920	960	2 005	3 365	5 100	8 270	42 300	98 010	300 000

Commentaires :

.....

.....

.....

SCORE	/	TEMPS	
	20		

B4 - Ecriture sous dictée de numéraux verbaux écrits

Consigne : «Vous allez écrire en toutes lettres les nombres que je vais vous dicter »

Exemple : « quatre » → quatre

2	9	13	20	44	51	195	307	469	701
883	920	960	2 005	3 365	5 100	8 270	42 300	98 010	300 000

Commentaires :

.....

.....

.....

SCORE	/	TEMPS	
	20		



Annexe 5 : Protocole du Mini Mental State of Examination (version consensuelle du GRECO)

Mini Mental State Examination (MMSE) (Version consensuelle du GRECO)

Orientation / 10

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire. Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

Quelle est la date complète d'aujourd'hui ?

Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

1. **En quelle année sommes-nous ?**
2. **En quelle saison ?**
3. **En quel mois ?**
4. **Quel jour du mois ?**
5. **Quel jour de la semaine ?**

Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous trouvons.

6. **Quel est le nom de l'hôpital où nous sommes ?***
7. **Dans quelle ville se trouve-t-il ?**
8. **Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ?****
9. **Dans quelle province ou région est située ce département ?**
10. **A quel étage sommes-nous ?**

Apprentissage / 3

Je vais vous dire trois mots ; je vous voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure.

11. **Cigare Citron Fauteuil**
12. **Fleur ou Clé ou Tulipe**
13. **Porte Ballon Canard**

Répéter les 3 mots.

Attention et calcul / 5

Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?*

14. **93**
15. **86**
16. **79**
17. **72**
18. **65**

Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander :
Voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers ?**

Rappel / 3

Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandés de répéter et de retenir tout à l'heure ?

11. **Cigare Citron Fauteuil**
12. **Fleur ou Clé ou Tulipe**
13. **Porte Ballon Canard**

Langage / 8

Montrer un crayon. 22. **Quel est le nom de cet objet ?***

Montrer votre montre. 23. **Quel est le nom de cet objet ?****

24. Ecoutez bien et répétez après moi : « **PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET** »***

Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « Ecoutez bien et faites ce que je vais vous dire :

25. **Prenez cette feuille de papier avec votre main droite,**

26. **Pliez-la en deux,**

27. **Et jetez-la par terre. »******

Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractère : « **FERMEZ LES YEUX** » et dire au sujet :

28. « **Faites ce qui est écrit** ».

Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :

29. « **Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. »*******

Praxies constructives / 1

30. Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander : « **Voulez-vous recopier ce dessin ?** »

Annexe 6 : Critères diagnostiques de la démence de type Alzheimer selon le DSM-IV-TR

A. Apparition de déficits cognitifs multiples, comme en témoignent à la fois :

1. une altération de la mémoire (altération de la capacité à apprendre des informations nouvelles ou à se rappeler les informations apprises antérieurement) ;

1. une (ou plusieurs) des perturbations cognitives suivantes :

a. aphasie (perturbation du langage)

b. apraxie (altération de la capacité à réaliser une activité motrice malgré des fonctions motrices intactes)

c. agnosie (impossibilité de reconnaître ou d'identifier des objets malgré des fonctions sensorielles intactes)

d. perturbation des fonctions exécutives (faire des projets, organiser, ordonner dans le temps, avoir une pensée abstraite).

B. Les déficits cognitifs des critères A1 et A2 sont tous les deux à l'origine d'une altération significative du fonctionnement social ou professionnel et représentent un déclin significatif par rapport au niveau de fonctionnement antérieur.

C. L'évolution est caractérisée par un début progressif et un déclin cognitif continu.

D. Les déficits cognitifs des critères A1 et A2 ne sont pas dus :

1. à d'autres affections du système nerveux central qui peuvent entraîner des déficits progressifs de la mémoire et du fonctionnement cognitif (par exemple : maladie cérébrovasculaire, maladie de Parkinson, maladie de Huntington, hématome sous-dural, hydrocéphalie à pression normale, tumeur cérébrale) ;

2. à des affections générales pouvant entraîner une démence (par exemple : hypothyroïdie, carence en vitamine B12 ou en folates, pellagre, hypercalcémie, neurosyphilis, infection par le VIH) ;

2. à des affections induites par une substance.

E. Les déficits ne surviennent pas de façon exclusive au cours de l'évolution d'un syndrome confusionnel.

F. La perturbation n'est pas mieux expliquée par un trouble de l'Axe I (par exemple : trouble dépressif majeur, schizophrénie).

Codification fondée sur la présence ou l'absence d'une perturbation cliniquement significative du comportement :

Sans perturbation du comportement : si les troubles cognitifs ne s'accompagnent d'aucune perturbation cliniquement significative du comportement.

Avec perturbation du comportement : si les troubles cognitifs s'accompagnent d'une perturbation cliniquement significative (par exemple : errance, agitation) du comportement.

Préciser le sous-type :

À début précoce : si le début se situe à 65 ans ou avant.

À début tardif : si le début se situe après 65 ans.

Acalculie dans la maladie d'Alzheimer : Troubles de la numérosité et du transcodage.

Résumé :

Cette étude repose sur la validation de l'ECAN (Evaluation clinique des aptitudes numériques) auprès de 49 patients Alzheimers appariés à 86 patients témoins. Cet outil nous a permis de mettre en évidence les résultats pathologiques tant en terme de scores que de vitesse de traitement et ce en numérosité et en transcodage.

Les erreurs de transcodage ont par ailleurs fait l'objet d'une étude plus approfondie.

Ce mémoire invite le lecteur à découvrir une nouvelle approche d'évaluation de l'acalculie et de la maladie d'Alzheimer.

Abstract :

This study concerns the validation of ECAN (an assessment tool for acquired numerical disorders) and is based on the analysis of 49 adults suffering from Alzheimer disease mated with 86 healthy adults. This tool enabled us to highlight pathological results for processing speed, numerosity and transcoding. Transcoding errors have furthermore been subject to a more thorough study. This paper gives the reader the opportunity to discover a new way of evaluating calculation disorder and Alzheimer disease.

Mots clés : Maladie d'Alzheimer - Acalculie – évaluation - Numérosité – Transcodage

Key words : Alzheimer disease - Acalculia - Assessment - Numerosity – Transcoding

Nombre de pages : 100 pages et 6 annexes (23 pages)

Nombre de références bibliographiques : 149

