HAL
open science

Etude sémiologique des troubles du calcul et du traitement des nombres chez l'aphasique moteur

Grégory Bynen

To cite this version:

Grégory Bynen. Etude sémiologique des troubles du calcul et du traitement des nombres chez l'aphasique moteur. Médecine humaine et pathologie. 2002. hal-01897293

HAL Id: hal-01897293

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01897293v1

Submitted on 17 Oct 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Double.

160161

UNIVERSITE HENRI POINCARE

Faculté de Médecine de NANCY 1

Année universitaire 2001-2002

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

MEMOIRE

En vue de l'obtention
du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Présenté par

Grégory BYNEN

ETUDE SEMIOLOGIQUE DES TROUBLES DU CALCUL ET DU TRAITEMENT DES NOMBRES CHEZ L'APHASIQUE MOTEUR

Président du Jury : Professeur ANDRE J.M.

Membres du Jury : MORIN N.
MOREL L.
Docteur BEIS J.M

BIBLIOTHEQUE MEDECINE NANCY 1
D 007 209742 8

PREAMBULE

« Les mots et le langage, qu'il soit oral ou écrit, ne semblent jouer aucun rôle dans mes processus de pensée. Les entités psychologiques qui servent de blocs de construction à ma pensée sont certains signes ou certaines images, plus ou moins claires, que je peux reproduire et recombiner à volonté. »

(Albert EINSTEIN).[1]

SCD UHP - NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE MÉDECINE

[1] extrait et traduit de : « An Essay on the Psychology of Invention in the mathematical Field », (Hadamard, J. ; Princeton Univ. Press, 1945)

***INTRODUCTION*.....1**

Première partie : THEORIES ET OBJECTIFS

CHAPITRE 1 : LE TRAITEMENT DES NOMBRES : CONCEPTS NUMERIQUES ET TRANSCODAGES.

I. GENERALITE DE CERTAINS CONCEPTS NUMERIQUES.....4
Numérosité, cardinalité et quantification.....4
Ordinalité et séquence.....6
Protonumérique et proto-arithmétique.....9

II. SPECIFICITES DES SYMBOLES NUMERIQUES ET TRANSCODAGES.....13
Présentation et analyse du code verbal et du code arabe.....14
Définition des transcodages.....18
L'aphasique moteur et les transcodages : des erreurs syntaxiques.....20

CHAPITRE 2 : LE CALCUL ET SES TROUBLES : TRAITEMENTS ARITHMETIQUES ET AIRE DE BROCA

I. HISTORIQUE : LE CALCUL, UNE FONCTION CEREBRALE MULTIFACTORIELLE.....30
Période anatomo-clinique : acalculie et premières données neuroanatomiques.....30
Distinction entre concepts et faits arithmétiques.....32
L'arithmétique exacte et approximative.....35

II. LE RESEAU FRONTAL EXACT ET LE RESEAU PARIETAL APPROXIMATIF.....36
Des activations frontales ou pariétales en fonction du type de calcul.....36
L'effet de taille.....41
Résumé.....42

CHAPITRE 3 : SYNTHESE : EVALUATION GLOBALE DES TRAITEMENTS NUMERIQUES ET EC301

I. EC301 : UN TEST GLOBAL, UNE APPROCHE SEMIOLOGIQUE.....43
Objectif : établir une sémiologie des troubles numériques chez l'aphasique.....43
Principes de l'EC301.....44

Description des différentes épreuves.....46

II. LES APHASIQUES MOTEURS ET L'EC301 : L'ETUDE DE BASSO (2000).....48
Présentation des résultats.....48
Analyse des résultats : tâches altérées et tâches préservées.....51
Comparaison inter-groupes.....51

Deuxième partie :
METHODES ET RESULTATS

CHAPITRE 1 :
METHODES ET PARTICIPANTS

I. POPULATION 54
Critères d'inclusion..... 54
Exclusion post hoc d'un patient.....57
Présentation du groupe-test..... 58

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....60
Déroulement du test.....60
Aménagements.....60
Chronométrage de l'épreuve 6.....61

CHAPITRE 2 :
PRESENTATION DES RESULTATS

I. DONNEES QUANTITATIVES BRUTES.....67
Présentation des scores du groupe.....67
Données statistiques descriptives.....70
Taux moyens de réussite (scores relatifs moyens).....72

II. ANALYSE PAR GROUPE DE TACHES.....74
Groupe de tâches 1 : score relatif moyen entre 25 et 40%.....74
Groupe de tâches 2 : score relatif moyen entre 60 et 70%.....76
Groupe de tâches 3 : score relatif moyen entre 75 et 85%.....77

CHAPITRE 3 :
TRANSCODAGES ET CALCUL EXACT SIMPLE

I. LES 7 TRANSCODAGES.....79
Décompte des erreurs.....79
Analyse qualitative des erreurs : subtest 3G.....81

Analyse qualitative des erreurs : subtest 3B.....83

II. RESULTATS DU CALCUL EXACT SIMPLE.....85
Performances du groupe dans les deux subtests.....86
Performances du groupe dans les 4 opérations.....87
Résultats du chronométrage.....89

Troisième partie
DISCUSSION ET INTERPRETATION

CHAPITRE 1 :
LE TRAITEMENT DES NUMERAUX

I. TROUBLES DU TRANSCODAGE.....92
Confirmation du profil syntaxique des erreurs.....92
Confirmation de l'effet de format.....94
Effet de longueur phonologique ?.....95

II. ASPECTS ALTERES ET PRESERVES DU NOMBRE.....97
Comptage.....97
Dénombrement.....100
Comparaison et échelle analogique.....102

CHAPITRE 2 :
LES TRAITEMENTS ARITHMETIQUES

I. PERFORMANCES DANS LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU CALCUL.....104
Calcul exact vs calcul approximatif.....104
Calcul exact simple vs calcul exact complexe.....106
Dissociation entre opérations.....107

II. FAITS ARITHMETIQUES : TEMPS DE REPONSES ET STRATEGIES.....109
Temps de réponses par opération.....109
Nature des temps chronométrés.....113
Nature indirecte des stratégies de résolution des multiplications.....115

CHAPITRE 3 :
LE MODELE DU TRIPLE CODE OU LA SEMANTIQUE APPROXIMATIVE

I. UNE APPROCHE TACHE ORIENTEE, ANATOMIQUE ET FONCTIONNELLE...118
Aspects généraux.....119
Aspects fonctionnels.....119
Aspects anatomo-fonctionnels.....123

II. INTERPRETATION DES TROUBLES NUMERIQUES OBSERVES DANS LE GROUPE-TEST.....125
Préservation du code quantité.....125
Préservation du code arabe.....127
Dissociation entre opérations et limites du modèle.....127

***CONCLUSION*.....130**

***BIBLIOGRAPHIE*.....133**

ANNEXES (9)

INTRODUCTION

INTRODUCTION.

Depuis moins d'une dizaine d'années, le calcul est devenu un enjeu central de la recherche, et bénéficie même depuis peu de sa propre revue, *Mathematical Cognition*. L'apparition récente des techniques d'imagerie cérébrale n'y est pas étrangère ; elle a permis de préciser le rôle des aires frontales et pariétales dont les travaux d'Henschen ou de Gerstman avaient déjà souligné l'importance au cours du vingtième siècle.

Ces récentes découvertes indiquent qu'il n'existe pas *un*, mais *des* calculs qui, en fonction du type d'activités numériques, mobilisent des aspects très différents du nombre. D'après ces résultats, un sujet qui compare 8 et 5 ne fait pas appel au même « 8 », ni au même « 5 » que lorsqu'il les multiplie . Plus encore, il semble que ces représentations numériques diffèrent entre la multiplication et la soustraction, ce qui fait écho aux dissociations entre opérations rapportées depuis longtemps dans la littérature neuropsychologique. Il semble que les différents aspects du nombre dépendent de deux circuits neuronaux distincts, l'un frontal et l'autre pariétal. Les aires motrices du langage, et surtout l'aire de Broca joueraient ainsi un rôle capital dans différents traitements numériques.

Ce mémoire prend prétexte de ces avancées théoriques pour tenter de dresser une sémiologie des troubles numériques chez l'aphasique moteur. De fait, l'orthophoniste est souvent confronté à des problèmes d'interprétation quand il constate des problèmes de transcodage numérique ou de calcul chez ce type de population. Ces troubles

découlent-ils des problèmes de production de langage, où masquent-ils une acalculie ? Est-il possible de systématiser les déficits numériques dans ce type d'aphasie ?

Pour répondre à ces questions, nous envisageons d'abord les données théoriques sur le nombre, en définissant les concepts numériques de base et les différences entre symboles arabes et verbaux. Nous précisons en quoi l'aphasique moteur a des troubles spécifiques dans les transcodages numériques. Ensuite, une revue des troubles du calcul chez le cérébrolésé et des récentes données de l'imagerie cérébrale vise à clarifier le rôle des aires motrices du langage dans différents traitements arithmétiques.

Parce qu'il permet une évaluation globale des traitements numériques évoqués, nous choisissons l'EC301 pour tester un groupe de 10 aphasiques moteurs. Les résultats sont présentés, analysés et interprétés à la lumière des données actuelles.

Première partie :

THEORIES

&

OBJECTIFS

CHAPITRE 1 :

LE TRAITEMENT DES NOMBRES : CONCEPTS NUMERIQUES ET TRANSCODAGES.

Cette première partie est consacrée à l'étude du système des entiers naturels et à l'altération des transcodages chez l'aphasique moteur.

Dans un souci de clarté, les différentes significations numériques (les concepts) sont ici distinguées de leur notation (les symboles).

Ainsi, après avoir défini les quelques notions de base (numérosité, cardinalité, ordinalité, séquence) qui jalonnent ce mémoire, nous présentons les résultats d'expériences chez l'animal et le nourrisson. Ils indiquent que des traitements numériques existent en l'absence de langage.

Ensuite, nous analysons les symboles numériques en montrant dans quelle mesure code arabe et code verbal constituent deux langages formels et deux façons de représenter les quantités.

Enfin, nous montrons qu'au sein du traitement des nombres, le transit entre ces deux codes, ou transcodage, est particulièrement altéré chez l'aphasique moteur.

I. GENERALITE DE CERTAINS CONCEPTS NUMERIQUES :

1)NUMEROSITE, CARDINALITE ET QUANTIFICATION :

La numérosité d'un stimulus désigne la quantité d'entités discrètes qu'il contient. Cette propriété constitue la signification la plus évidente d'un nombre, la représentation de quantité. Il s'agit en fait de son versant cardinal. C'est sur cet aspect particulier du nombre que s'appuie le plus souvent l'arithmétique.

En effet, effectuer l'addition « 7+8 » consiste à réunir deux sous-ensembles distincts, respectivement de cardinal {7} et {8}, pour obtenir un nouveau cardinal d'ensemble.

Il semble que la **capacité d'extraire la numérosité, par *l'opération de quantification***, ne soit pas exclusivement humaine. Il existe en effet dans la littérature éthologique un nombre conséquent d'études indiquant que plusieurs espèces animales disposent d'un tel « sens du nombre ». Parmi ces espèces, citons le rat[1], le pigeon[2], le perroquet[3], le dauphin[4] et, plus proches de nous du point de vue phylogénétique, le chimpanzé[5]. Tous ces animaux sont capables de prêter attention à des quantités numériques de nature variée (sons, flashs lumineux, morceaux de nourriture, etc.). Ils peuvent même, après conditionnement, associer ces perceptions à des réponses adaptées dans une autre modalité de sortie[6] : on parle dans ce cas d'extraction *intermodale* de numérosité.

---

[1] Capaldi,E. J. & Miller D. J., *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Processes* **14**, 3 (1988) ; Davis, H. & Albert, M., *Animal Learn. Behav.* **14**, 57 (1986)
[2] Honig, W. K. andStewart, K. E., *Animal Learn. Behav.* **17**, 134 (1989)
[3] Pepperberg, I., *Ethology* **75**, 137 (1987)
[4] Mitchell, R. W. & al., *J. Comp. Psychol.* **99**, 218 (1985)
[5] Boysen, S. T. & Berntson, G. G., *J. Comp. Psychol.* **103**, 23 (1989)
[6] par exemple, presser un levier autant de fois que la numérosité perçue visuellement (flashs lumineux) ou auditivement (séquence sonore) dans l'expérience avec les rats.

Dans la lignée de ces résultats, voici en substance la série d'expériences de Brannon et Terrace (1998, 2000)[7], la plus récente menée avec des primates non humains. Elle permet en outre de présenter la conception des épreuves qui évaluent les différentes significations numériques.

Rosencrantz et Macduff, deux singes Rhésus, montrent qu'ils parviennent non seulement à discriminer des quantités de 1 à 9 au sein de stimuli visuels, mais de surcroît à « détecter leur disparité ordinale ». Afin que les sujets se focalisent uniquement sur la variable quantitative, les auteurs ont d'abord pris soin de contrôler les aspects extra-numériques (taille, forme, couleur, densité,...) liés aux items [cf ANNEXE 1A].

Le dispositif expérimental se déroule en deux phases : une phase de conditionnement et une phase de généralisation.

PHASE 1 : CONDITIONNEMENT (QUANTITES : 1, 2, 3 ET 4)

- ***Temps A :*** les singes sont intensivement entraînés à ordonner les numérosités de 1 à 4. Sur un écran tactile, ils apprennent à presser sur des cartes en respectant l'ordre croissant des quantités qu'elles figurent. A chaque fois qu'ils fournissent la bonne séquence, il y a feedback auditif et visuel avec un renforcement par de la nourriture. Au total, 35 échantillons de 4 cartes sont ainsi présentés, chacun 60 fois consécutives. La configuration des exemplaires varie aléatoirement entre chaque essai.
- ***Temps B :*** on détermine cette fois les résultats obtenus *au premier essai* avec un bloc de 150 nouveaux échantillons. Il est impossible dans ces conditions de mémoriser, suite à une exposition répétée, une séquence arbitraire d'objets visuels, c'est à dire une « association entre un quelconque critère extra-numérique et une position ordinale ». Ici, la réponse s'appuie soit sur la numérosité, soit sur le hasard.

[7] Brannon, E. M. & Terrace,H. S., « *Science* **282**, 746 (1998).

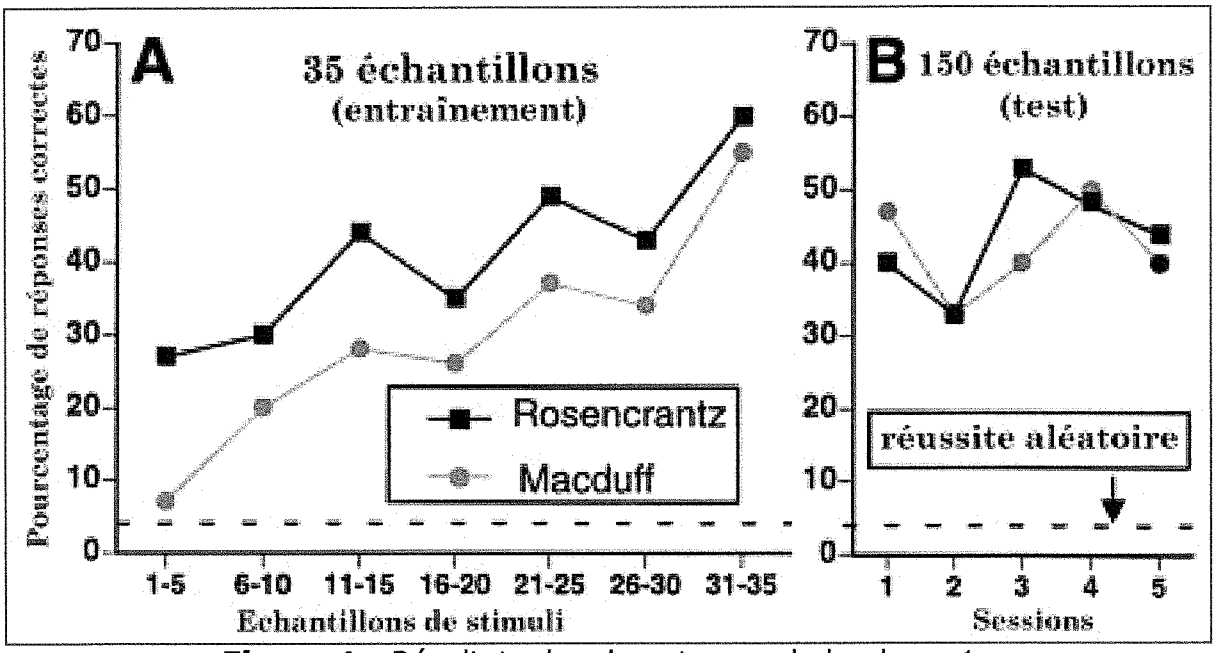


Figure 1 : Résultats des deux temps de la phase 1.
[extraits et traduits de Brannon & Terrace(1998)]

Il ressort globalement de ces résultats :

- que le taux de réussite excède systématiquement le hasard ;
- que les performances obtenues aux cinq sessions-test (figure 1B) et aux cinq derniers blocs d'entraînement sont comparables.

Les auteurs en déduisent que :

« les singes ont appris à discriminer la numérosité durant l'entraînement même quand une stratégie non numérique aurait suffi ».

2)ORDINALITE ET SEQUENCE :

A ce stade, les rhésus se montrent ainsi capables :

- de détecter la quantité figurée par chaque item ;
- de répondre ensuite en respectant un certain ordre.

En dépit des apparences, ces données ne suffisent pas à conclure qu'ils obéissent à une règle **ordinale**. Elles permettent seulement d'affirmer qu'ils accèdent à une **signification de séquence**, c'est à dire une

relation d'ordre avant/ après. Il s'agit d'un élément de définition nécessaire mais non suffisant de l'ordinalité, qui n'acquiert sa pleine signification qu'au travers d'**une relation d'ordre du type +1/-1, plus petit/ plus grand.**

> Il se trouve que la série renforcée est ici « 1-2-3-4 », mais rien ne dit qu'une série différente, disons « 4-2-1-3 », n'aurait pas mené à des résultats symétriques.

Comment les singes appréhendent-ils la suite de quantités entraînée ? Est-ce pour eux une succession arbitraire de catégories nominales discrètes ou, a contrario, reliées entre elles par des règles transversales du type plus grand/ plus petit ? Cette question constitue l'objet de la deuxième phase expérimentale.

DEUXIEME PHASE : GENERALISATION (QUANTITES :1→9)

Les deux singes doivent ici ordonner les éléments de chacune des 36 paires qui peuvent être générées à partir des numérosités de 1 à 9 (figure 2). Seules les 6 paires de numérosités familières (de 1 à 4) ont bénéficié d'un renforcement ; aucune relation d'ordre n'a pu être apprise pour les 30 autres paires qui n'ont pas été entraînées au sein des séquences de la phase 1. Chaque essai comporte de nouveaux exemplaires pour chaque numérosité, et la taille des éléments au sein de chaque stimulus varie aléatoirement (ANNEXE 1B).

Le tableau 1 indique les résultats observés pour cette nouvelle tâche :

	Pourcentage de réponses correctes		
	FF	FN	NN
Rosencrantz	94	93	73
Macduff	92	93	75

Tableau 1. Pourcentage de réponses correctes pour les trois types de paires numériques. *(extrait et traduit de Brannon &Terrace (1998))*
Le taux de réussite excède le simple hasard pour les paires *FF*=« familier-familier » [Rosencrantz, $t(19) = 70.0$, $P < 0.0001$; Macduff, $t(19) = 40.9$, $P < 0.0001$], *FN*=« familier-nouveau » [Rosencrantz, $t(19) = 25.7$, $P < 0.0001$; Macduff, $t(19) = 32.3$, $P < 0.0001$], et *NN*=« nouveau-nouveau » [Rosencrantz, $t(19) = 9.1$, $P < 0.0001$; Macduff, $t(19) = 7.3$, $P < 0.0001$].

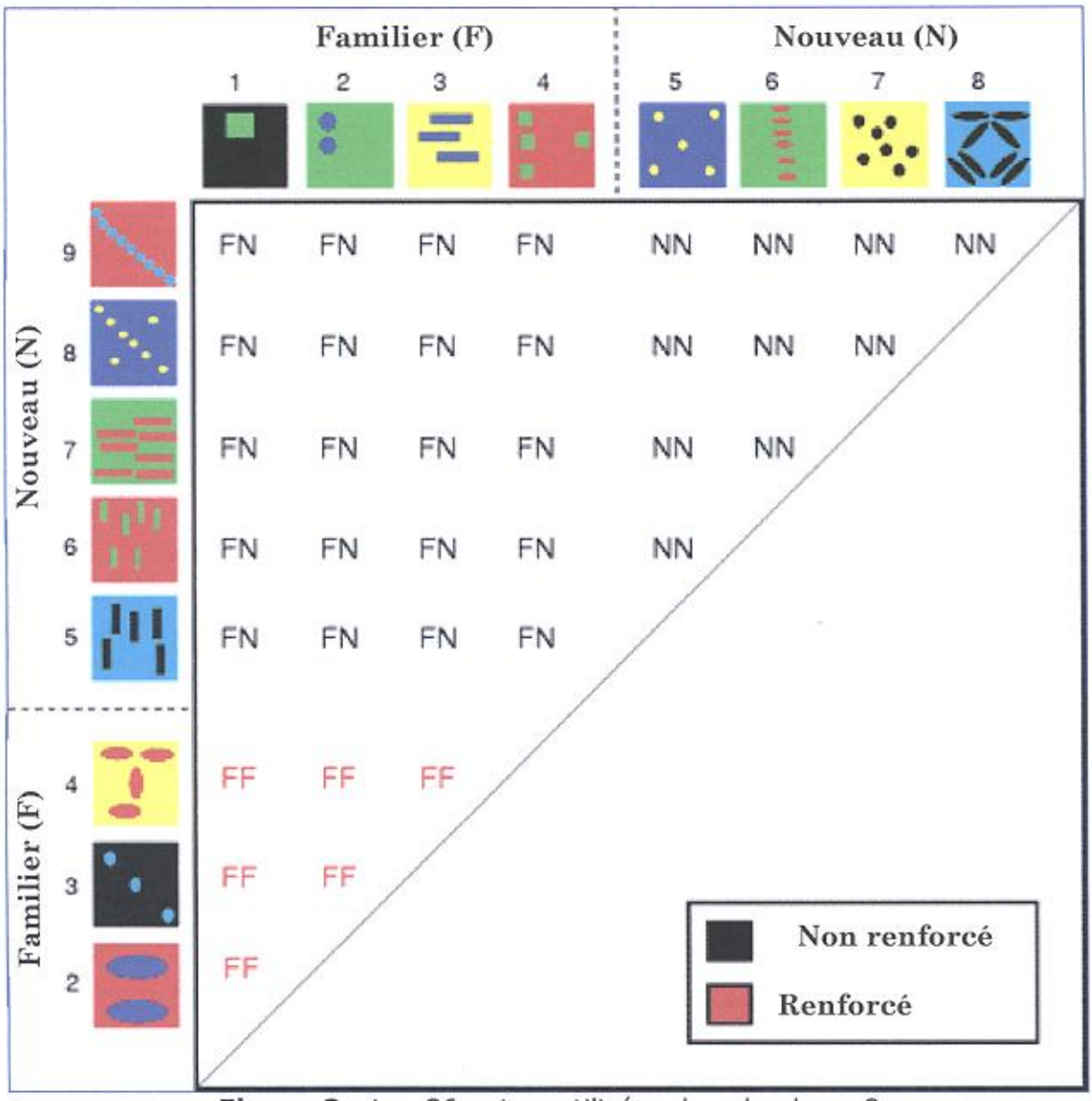


Figure 2 : Les 36 paires utilisées dans la phase 2.
(extrait et traduit de Brannon &Terrace (1998))

Le taux de réussite le plus significatif concerne les 10 paires pour lesquelles aucune des deux numérosités ne bénéficie d'un entraînement préalable (i.e., NN, tableau 1 et figure 2). Selon les auteurs, il indique que :

« les singes rhésus peuvent spontanément concevoir la numérosité de nouveaux stimuli visuels et extrapoler une règle ordinale aux nouvelles numérosités ».

La question de savoir si ces compétences se développent à l'état sauvage, en dehors des expériences de laboratoire, reste néanmoins largement ouverte. Certains pensent qu'il s'agit d'une « stratégie de dernier ressort »[8] utilisée une fois que les autres critères extra-numériques sont épuisés ; d'autres resituent ces habiletés dans la théorie darwiniste de l'évolution, en soulignant l'avantage manifeste qu'elles constituent pour la survie d'une espèce[9]. Il semble en tout cas acquis que des animaux disposent de certaines capacités numériques, qu'elles soient mises en œuvre spontanément ou non.

En résumé, il semble que plusieurs espèces animales peuvent mobiliser, *en l'absence de tout système symbolique formel,* des aptitudes numériques basiques telles que :

- perception, discrimination et extraction intermodale de numérosités ;
- jugement de la magnitude relative des quantités perçues.

Par ailleurs, il existe un nombre consistant d'études comportementales[10] suggérant que ce type d'habiletés proto-numériques existe aussi *chez l'enfant en période prélinguistique.*

3)PROTO-NUMERIQUE ET PROTO-ARITHMETIQUE :

Par exemple, après habituation visuelle à un nombre fixe de points, **la mesure du temps de fixation d'enfants âgés de six à sept mois**

[8] Galistel, C.R. &Gellman, R., *Cognition* , 44, 43 (1992).
[9] Davis, H. & Perusse, R., *Behav. Brain Sci.,* 11, 602 (1988).
[10] Antell & Keating (1983), Koechlin & al. (1997), Moore & al. (1987), Simon & al. (1995), Sophian &Adams (1987), Xu & Spelke (2000) [cf bibliographie pour le détail de ces références].

montre qu'ils sont déjà sensibles à certaines variations de numérosité[11].

Ainsi semblent-ils pouvoir discriminer 2 et 3, mais pas 4 et 6.

En ce qui concerne les stimuli auditifs, il a aussi été établi avec une autre technique (dite de succion non nutritive) que des nouveaux-nés de quatre jours peuvent distinguer du matériel verbal de 2 vs 3 syllabes[12]. Dans toutes ces expériences, les paramètres extra-numériques des stimuli (forme, couleur, durée de présentation, rythme, etc.) sont strictement contrôlés.

Il semble donc que l'enfant dans sa première année dispose déjà d'outils rudimentaires de quantification ; ils sont essentiellement opérationnels pour de petites numérosités, c'est à dire les ensembles de 1 à 3 éléments.

Une étude de référence[13] (Wynn, 1992) suggère que **cette compétence proto-numérique se double d'une compétence proto-arithmétique** limitée à ces mêmes quantités. En d'autres termes, l'enfant non seulement dispose de représentations internes de ces quantités, mais peut les utiliser à un niveau combinatoire pour anticiper les résultats d'opérations élémentaires du type 1+1=2, ou 2-1=1.

La figure 3 résume schématiquement le paradigme expérimental utilisé par Wynn.

Il s'agit dans cette expérience de présenter à des enfants de cinq mois des saynètes qui symbolisent l'addition « 1+1 ».
Par le truchement d'un écran qui cache les manipulations de l'examinateur, il est possible de faire varier le nombre de jouets qui tient lieu de résultat.
Les saynètes aboutissent alternativement aux résultats suivants :

- résultat possible : 1+1=2
- résultats impossibles : 1+1=1 ou 1+1=3

On mesure à chaque fois les temps de fixation.

[11] Starkey, P., Cooper, R.G., *Science* 210, 1033 (1980).
[12] Bijelbac-Babic, R. & al., « How do four-day-old … », *Developmental Psychology*, 29, 711-721(1991)

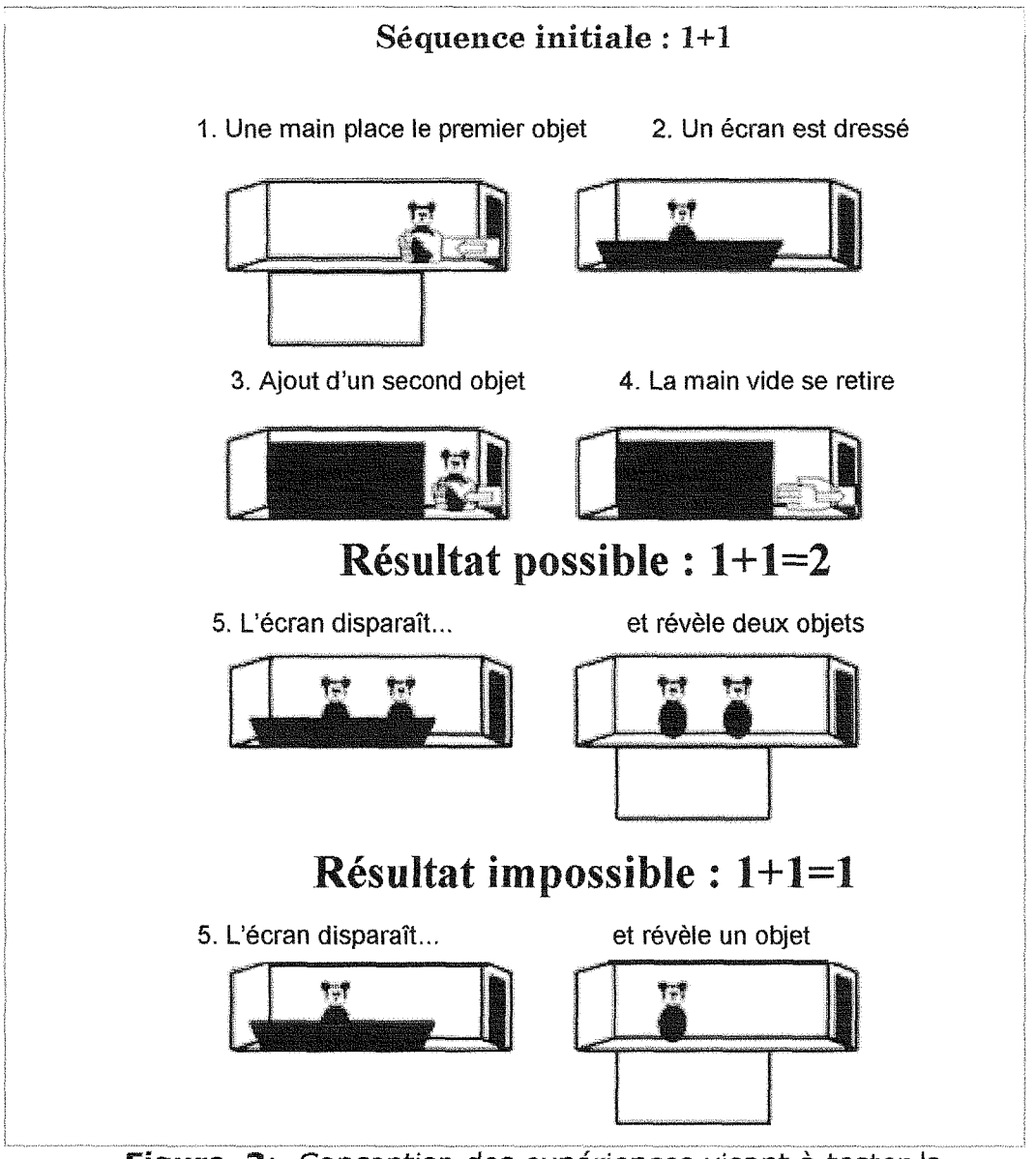


Figure 3: Conception des expériences visant à tester la compréhension par l'enfant de cinq mois d'une opération concrète : « 1+1=2 ».
(extrait et traduit de Wynn, 1992a)

Les résultats mettent en évidence une augmentation significative du temps de fixation pour les résultats impossibles si on les compare à ceux enregistrés pour le résultat escompté. L'auteur interprète cette réaction de surprise comme la preuve que **les nourrissons peuvent mentalement anticiper l'apparition des deux jouets**. Il ne peut s'agir

[13] Wynn, K., « Addition and substraction by human infants », *Nature,* 358, 749-750, 1992a

que d'une anticipation, dans la mesure où ils ne voient formellement deux souris ensemble qu'au moment où l'écran disparaît.
L'auteur observe ce même comportement pour des modifications équivalentes de numérosité, mais dans le contexte d'une **soustraction : « 2 – 1 = 1 ».**

> Des épigones ont ensuite repris le dispositif de Wynn en changeant tantôt l'identité des personnages[14], tantôt leur arrangement spatial en les disposant sur un plateau rotatif[15]. Ils aboutissent toutefois aux mêmes résultats, ce qui suggère que la réaction de surprise du nourrisson n'est pas due à des biais non numériques.

En résumé, ces découvertes suggèrent que l'homme, dès les premiers mois de la vie, est capable de catégoriser le monde sur la base de petites quantités comme il peut le faire avec les couleurs ou les formes. Il semble de surcroît doté d'un arsenal rudimentaire de savoirs arithmétiques de base limité aux représentations internes de ces mêmes quantités.

Cette sorte d' « intuition numérique » , si elle existe, ne suffit manifestement pas à rendre compte de la compréhension étendue du nombre et de l'arithmétique, puisqu'elle se borne aux collections de 1 à 3 éléments[16]. Selon Jean Piaget, dont les travaux font référence dans la rééducation des troubles *développementaux* du calcul, l'enfant passe de savoirs intuitifs à la construction d'une véritable compétence :

- **à partir de ses propres expériences**, dont il tire des lois logico-mathématiques à portée générale

[14] Simon, T.J. & al., « Do infants understand simple arithmetic ? A replication of Wynn (1992) », *Cognitive Development*, 10, 253-269.
[15] Koechlin, E., « Numerical transformations in five-month-old human infants », *Mathematical Cognition*, 3, 89-104.

1)PRESENTATION ET ANALYSE DU CODE ARABE ET DU CODE VERBAL.

A. LE SYSTEME DE NOTATION VERBALE

Il dispose de deux modalités (orale ou écrite) et comprend :

❑ **UN LEXIQUE** relativement réduit comportant 25 unités minimales : les **primitives lexicales** (tableau 2).
Ces primitives se décomposent de la façon suivante :

- **les *unités*** correspondent aux *quantités de base*, de « un » à « neuf » ;

- **lesdits *particuliers*** de « onze » à « seize », sont des *quantités de base +10 ;*

- **les *dizaines*** représentent les *quantités de base x 10* ;

- **les *opérateurs*** représentent des quantités et peuvent en même temps être combinés aux autres primitives dans des relations de somme ou de produit.

Tous ces éléments lexicaux portent à la fois une information de **classe** et une information de **position**[18].

Par exemple, *seize* occupe la position 6 au sein de la classe des particuliers, tandis que *soixante* occupe la même position dans une classe différente, celle des dizaines .

[18] Deloche et Seron proposent en 1987 l'organisation du lexique interne des numéraux verbaux en fonction de leurs caractéristiques de position et classe.
Par exemple, la décomposition morphologique de « cinquante » permet de retrouver une information de position dans le radical « cinq(u) » et de classe dans le suffixe « ante » .

unités	particuliers	dizaines	opérateurs
un	onze	dix	cent(s)
/œ̃/	/õz/	/dis/	/sɑ̃/
deux	douze	vingt	mille
/dø/	/duz/	/vɛ̃/	/mil/
trois	treize	trente	million(s)
/tʀwa/	/tʀɛz/	/tʀɑ̃t/	/miljõ/
quatre	quatorze	quarante	milliard(s)[19]
/katʀ/	/katɔʀz/	/kaʀɑ̃t/	/miljaʀ/
cinq	quinze	cinquante	
/sɛ̃k/	/kɛ̃z/	/sɛ̃kɑ̃t/	
six	seize	soixante[20]	
/sis/	/sɛz/	/swasɑ̃t/	
sept			
/sɛt/			
huit			
/ɥit/			
neuf			
/nœf/			

Tableau 2 : Les 25 primitives du code verbal français.

❑ **UNE SYNTAXE** permet la concaténation de ces unités lexicales pour exprimer l'ensemble des quantités.

Chaque entier naturel est conventionnellement désigné par un ***mot nombre*** *et un seul. Ce mot nombre peut comporter une ou plusieurs primitives.*

Exemple : A la quantité {3008} correspond *un* mot nombre, « trois mille huit », qui comporte *trois* primitives lexicales.

[19] La primitive « billion » (10 puissance 12) existe, mais est inusitée.
[20] Pour certains francophones, il convient de rajouter septante, octante et nonante.

La combinaison des primitives du code verbal obéit à un nombre fixe et limité de règles[21]. Il en ressort surtout que **l'ordre** joue un rôle primordial dans la séquence des unités verbales :

- **d'une part, il reflète tacitement *des rapports additifs ou multiplicatifs* entre les éléments d'un mot nombre.**

Par exemple, c'est *l'ordre* liant les primitives « cent » et « trois » qui explique que :

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \textit{trois cents} & \neq & \textit{cent trois} \\ \{3\} \times \{100\} & \neq & \{100\} + \{3\} \end{cases}$$

La nature de ces rapports est toujours sous-entendue, sauf dans les séquences du type « vingt <u>*et*</u> un ».

- **d'autre part, il explique l'existence de *non mots nombres.***

Il existe en effet des combinaisons illégales d'un point de vue linguistique ; par exemple, *cent vingt huit* existe, mais pas *vingt cent huit.*

B. LE SYSTEME DE NOTATION ARABE :

Sa modalité est exclusivement écrite, et il contraste singulièrement par son dépouillement.

Il comprend en effet :

- ❑ **UN LEXIQUE** très restreint de symboles visuels, dont la combinaison suffit à retranscrire l'infinité des quantités : ce sont *les 10 chiffres arabes.*

[21] Pour la liste exhaustive de ces règles, voir Power & Longuet-Higgins (1978).

Chiffres arabes
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Tableau 3 : Les dix primitives du code arabe.

- **UNE SYNTAXE** simple, calquée sur le principe de la **numération de position** : *la valeur d'un chiffre est strictement dépendante de sa position dans la séquence numérale.*

Aux n positions possibles (n ℂ N^+) correspondent n puissances de base 10 : il s'agit de la traduction du **principe décimal** du système arabe.

Exemple : Le chiffre 2 désigne 2 groupements de dix unités dans 1328, mais 2 unités dans 1382 (tableau 4).

$x10^n$	$x10^{n-1}$	.....	$x10^4$	$x10^3$	$x10^2$	$x10^1$	$x10^0$
–	–	.....	–	1	3	2	8
–	–	.....	–	1	3	8	2

Tableau 4 : Schématisation du principe décimal.

Contrairement au code verbal, *il n'existe pas de combinaisons illégales de chiffres*, c'est à dire de non nombres.

Les nombres qui commencent par un ou plusieurs 0 peuvent faire figure d'exception. Cependant, on peut considérer qu' il s'agit moins d'erreurs que de simples redondances, dans la mesure où la lecture d'un nombre est toujours possible.

C. DEFINITION DES TRANSCODAGES

Pour conclure, il semble que le passage d'un système de notation à l'autre, ou **transcodage**, soit un processus hautement automatisé chez l'adulte normalement scolarisé[22]. Il obéit en tout cas à une sémantique claire et simple, puisqu'il existe une **stricte correspondance réciproque :**

- entre les symboles numériques eux-mêmes, qu'il s'agisse d'une suite de chiffres, de lettres ou de sons ;
- entre les symboles numériques et la quantité qu'ils figurent[23].

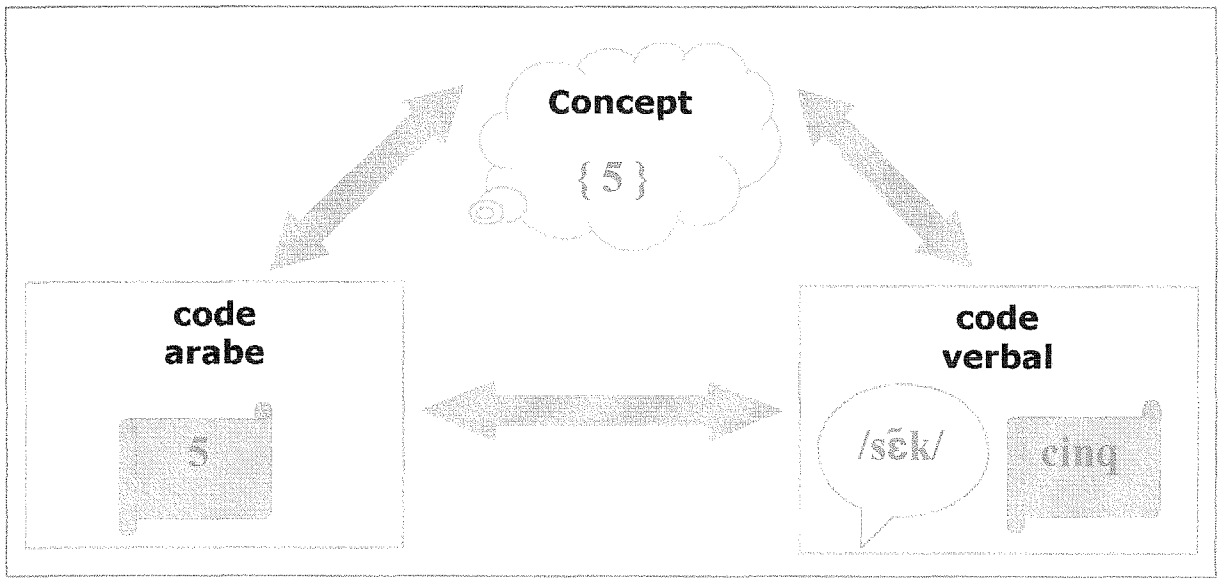


Figure 4 : Les relations bi-univoques entre symboles et concepts numériques

Au total, il existe 6 transcodages possibles (figure 5, page suivante).

[22] Dehaene, S. & Akhavein, R., « Attention, automaticity, and levels of representation in number processing », *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition,* **21**, 314-326 (1995).
[23] Il existe une exception à ce principe : les nombres de 1100 à 1900 peuvent avoir deux traductions verbales (par exemple, 1300 peut se lire *treize cents* ou *mille trois cents*).

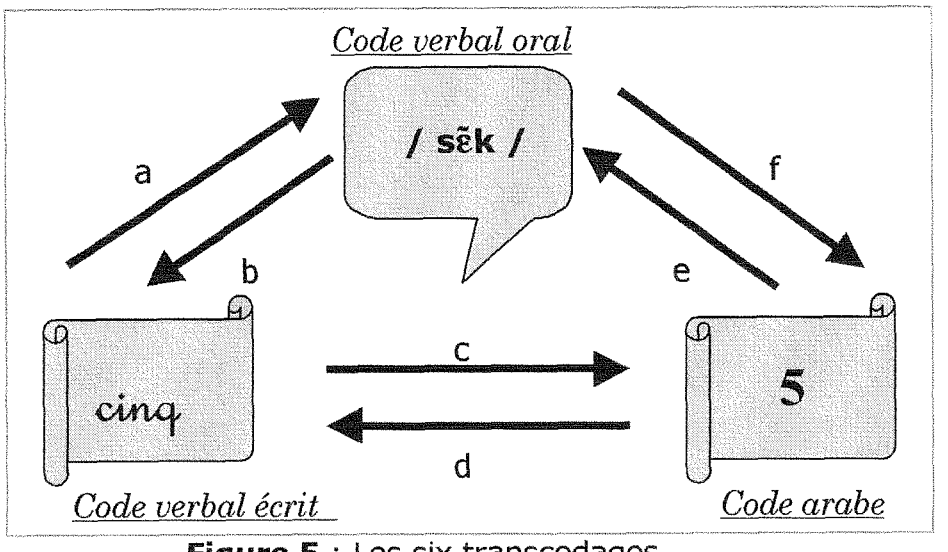


Figure 5 : Les six transcodages.

a : lecture à haute voix de mots nombres ;
b : écriture de mots nombres sous dictée ;
c : écriture d'un numéral arabe à partir d'un numéral verbal écrit ;
d : écriture d'un numéral verbal écrit à partir d'un numéral arabe ;
e : lecture à haute voix d'un numéral arabe ;
f : écriture sous dictée d'un numéral arabe.

Pour ces 6 transcodages, l'input et l'output sont produits :

- dans des notations différentes (*transcodages inter-notations* : c et d) ;
- dans des modalités différentes (*transcodages intermodaux :* a et b) ;
- dans des notations et des modalités différentes (*transcodages mixtes :* e et f) .

Tous les transcodages mobilisent donc le code verbal, alternativement en modalité d'entrée ou de sortie : il s'agit, par nature, de tâches psycholinguistiques.

La partie suivante vise à préciser les conséquences de l'aphasie motrice sur ce type d'activités.

3) APHASIE MOTRICE ET TRANSCODAGES : ERREURS SYNTAXIQUES

A. DELOCHE ET SERON : CLASSIFICATION DES ERREURS DE TRANSCODAGE.

La première investigation systématique des erreurs de transcodage chez l'aphasique date de 1982[24].

A cette occasion, Deloche et Seron recueillent, puis analysent les erreurs commises par deux groupes de sujets (7 aphasiques de Broca et 7 aphasiques de Wernicke[25]) qui retranscrivent en chiffres arabes une liste de 100 numéraux entiers, présentés dans le code verbal écrit (transcodage c, figure 5).

Les auteurs objectivent les résultats suivants:

❑ D'UN POINT DE VUE QUANTITATIF :

Sur les 1400 transcriptions recueillies, le taux d'erreurs moyen est de 21% pour les aphasiques de Broca et de 18% pour les aphasiques de Wernicke. *Il n'y a donc pas de différence significative à ce niveau.*

Globalement, seuls 13 items de la liste, dont 6 ne comprennent qu'une seule primitive lexicale, sont correctement transcrits par tous.

❑ D'UN POINT DE VUE QUALITATIF :

Au terme d'une analyse psycholinguistique, les auteurs distinguent **5 grandes catégories d'erreurs :**

---

[24] Deloche,G. &Seron, X., « From one to 1 : An analysis of a transcoding process by means of neuropsychological data », *Cognition*, **12**, 119-149 (1982a).
Deloche,G. &Seron, X., « From three to 3 : A differential analysis of skills in trnscoding quantities between patients with Broca's and Wernicke aphasia », *Brain*, **105**, 719-733 (1982b).

[25] Les sujets ont tous passé un bilan neurolinguistique (Ducarne, 1976). Ils ne sont ni mutiques, ni logorrhéiques. L'étiologie est vasculaire pour 11 d'entre eux ; pour les 3 autres, elle est respectivement infectieuse, tumorale et traumatique. La lésion cérébrale date pour tous d'au moins six mois au moment du test.

1. Erreurs lexicales

a- d'identification :

Elles procèdent d'une mauvaise identification des primitives du lexique, qui découle selon les cas :

- de paralexies phonémiques[26] (similarité phonétique, par exemple : *seize → /trɛz/(13)).*
- d'erreurs visuelles (similarité graphique, par exemple : *cinq → cent(100))*
- d'erreurs de classe lexicale (cf tableau 2) avec respect de la position au sein de la classe.
  Par exemple, dans l'erreur *quinze → 50 (cinquante)*, les deux numéraux partagent la position 5 au sein de classes différentes, respectivement celle des particuliers et des dizaines.
- d'erreurs de position avec respect de la classe lexicale. Par exemple : *quinze→ 13(treize)*

b- concernant l'ordre des primitives du mot nombre.

Elles ne sont plus attribuables à un encodage erroné des éléments lexicaux considérés isolément. Il s'agit plutôt du non respect de leur ordre sériel lorsque le mot nombre est balayé de gauche à droite.

- les erreurs les plus typiques sont les déplacements d'un item lexical au sein de la chaîne (par exemple : *vingt-quatre → 80 (quatre-vingts)).*
- certaines omissions révèlent plutôt un traitement partiel ou avorté de la chaîne (par exemple : *cinquante-cinq mille huit cent trente neuf → 55830*).
- enfin, certaines répétitions de chiffres révèlent des persévérations intra-item.
  (par exemple : *cent cinquante-trois →1553).*

2. Erreurs syntaxiques (stratégies de transcodage).

Ce type d'erreurs résulte d'une mauvaise application des règles du transcodage stricto sensu. Il survient donc même si l'identification des

éléments lexicaux et de leur ordre relatif est correcte, ce qui illustre la complexité des mécanismes qui sous-tendent le passage entre les deux notations.

En effet, comme les deux codes représentent différemment les quantités, il ne suffit pas de convertir *terme à terme* les primitives lexicales en leur équivalent digital. Il faut en outre les *intégrer* dans le cadre syntaxique arabe, en respectant la logique du système décimal et de la numération de position. Les auteurs observent à ce stade :

- Des erreurs de lexicalisation, avec par exemple : *cent-deux mille → 10021000 (i.e. « 100-2-1000 »).*

- Des erreurs de transcodage des opérateurs « mille » et « cent ». Elles consistent à rajouter un chiffre, le 1 ou le 0, pour symboliser ces multiplicandes alors que le contexte ne l'y autorise pas. Par exemple : *trois mille deux cent seize → 312016.*

- Des erreurs de classe et/ou de position pour les dizaines composées (i.e. les mots nombres compris entre *soixante dix* et *quatre-vingt dix-neuf).*
  Par exemple : *Soixante-quinze → 65.*

3. ***Des erreurs mixtes***

Elles résultent de la combinaison d'au moins deux des difficultés décrites ci-dessus.

Par exemple : *cent six mille deux → 5602 (erreur visuelle: cent/cinq + transcodage erroné du "mille"→ 0)*

4. Divers.

Cette catégorie rassemble les erreurs qui ne rentrent pas dans les critères de la classification (par exemple, les productions aberrantes, ou l'ajout de plusieurs zéros : 31 → 3100)).

[26] Les auteurs utilisent le terme de paralexies phonémiques parce que « certains patients lisent à voix le numéral pendant le transcodage ».

B. RESULTATS : ERREURS SYNTAXIQUES

Cette classification sert de grille d'analyse systématique et permet aux auteurs d'étudier la distribution des transcriptions erronées en fonction du type d'erreurs et de l'aphasie (tableau 5, ci-après).

Type d'erreurs	*Broca (n=7)*	*Wernicke (n=7)*	*Total*
1) Lexicales			
a- identification			
Paralexies visuelles	2	-	2
Paralexies phonémiques	-	1	1
Erreurs de classe	12	6	18
Erreurs de position	-	4	4
→ **Sous-total**	14	11	25
b- Ordre			
Elément lexical déplacé	11	26	37
Traitement partiel	9	3	12
Persévération	7	11	18
→ **Sous-total**	27	40	67
2) Transcodage			
Lexicalisation	27	7	34
« mille » et « cent »			
→multiplicandes	26	11	37
→non multiplicandes	7	8	15
Dizaines composées	8	-	8
→ **Sous-total**	68	26	94
3) Mixte	23	32	55
4) Divers	12	16	28
TOTAL	144	125	269

Tableau 5 : Les différentes erreurs commises par des aphasiques dans le transcodage verbal écrit → chiffres arabes.
(traduit de Deloche et Seron(1982b))

Considérés dans leur ensemble, ces résultats indiquent pour les auteurs que:

- les déficits lexicaux qui altèrent l'encodage des informations de classe et/ou de position des numéraux verbaux, dominent chez les aphasiques de Wernicke (erreurs d'identification et d'ordre). Ils commettent en particulier 70% des erreurs de déplacement.

- cette étape lexicale est nécessaire mais pas suffisante. La seule analyse morphologique n'aboutit qu'au transcodage terme à terme des items lexicaux (lexicalisations totales ou partielles).

- d'autres mécanismes, par essence syntaxiques, permettent donc ensuite d'exploiter les informations de la première étape : c'est le transcodage à proprement parler. Les aphasiques de Broca produisent 72%[27] des erreurs classées à ce niveau.

Dans la lignée de cette étude, les mêmes auteurs publient une série de travaux[28] portant sur le transcodage inverse (code arabe → code verbal, transcodage d, figure 5). A nouveau , deux principaux types d'erreurs, à dominante lexicale ou syntaxique, sont décrits en rapport avec les deux étapes de transcodage.
Pour en faciliter l'approche, nous les présentons directement sous forme de tableau, avec un exemple pour chacune d'entre elles (tableau 6).

[27] La proportion atteint même près de 80% pour les seules lexicalisations.
[28] SERON, X. & DELOCHE, G., « From 4 to four : A supplement to" From three to 3" », *Brain*, **106**, 735-744 (1983) ; « From 2 to two (...) », *Journal of Psycholinguistic Research*, **13**, 215-235 (1984).

Type d'erreurs	Définitions	Exemples
1) Lexicales		
a-Identification		
Paragraphies littérales	Erreur portant sur un ou plusieurs graphèmes	15→quind
Paragraphies morphémiques	Erreur de sélection du morphème	30→troisante
Erreurs de classe		30→trois
Erreurs de position		30→quarante
Erreurs de découpage	Les chiffres sont mal regroupés, mais la transcription n'est pas totalement littérale	123→douze trois
b-Ordre		↷
Chiffre déplacé		321→trois cent douze
Omission	Omission d'une primitive lexicale	86→quatre ∅ six
Ajout		90→quatre vingt dix deux
2)Transcodage		
Traitement interrompu	Le transcodage concerne une seule partie de la séquence	660→six cent ∅
Transcription de « 0 » par « zéro »		901→neuf cent zéro un
Transcription littérale		182→un huit deux
3)Mixte	Combinaison d'erreurs lexicales et/ou syntaxiques	95→neufante ∅ paragraphie morphémique & traitement interrompu
4)Divers	Productions aberrantes et autres erreurs	325→sept

Tableau 6 : Classification des erreurs du transcodage « 1→un ».
(d'après Deloche & Seron (1984))

Avec cette nouvelle grille d'analyse, ils constatent à nouveau l'occurrence d'erreurs à dominante lexicale ou syntaxique, en liaison avec le type d'aphasie.

La réplicabilité de ces observations suggère que les deux profils d'erreurs ne dépendent pas de la nature du transcodage.

Deloche pense donc qu'ils reflètent les différences typiques de ces patients au niveau du langage en général. Une analyse plus fine des erreurs lexicales montre en effet que :

- les aphasiques moteurs commettent *uniquement* des erreurs de classe, contrairement aux aphasiques de Wernicke, qui font aussi des confusions de position au sein de la classe ;
- ces erreurs de classe sont homogènes chez les aphasiques moteurs et vont presque toutes dans le sens d'une simplification ; par exemple, ils substituent les particuliers par les unités correspondantes et jamais par les dizaines. Les auteurs font le parallèle entre cette simplification et la disparition, en lecture à voix haute, des éléments d'affixation chez les alexiques profonds.

La prépondérance des erreurs syntaxiques et de ces erreurs typiques de classe n'est donc, selon les auteurs, qu'une conséquence parmi d'autres des troubles grammaticaux qui surviennent dans l'ensemble des tâches linguistiques[29].

C. DELAZER (1999) : L'EFFET DE FORMAT.

Afin de vérifier l'hypothèse d'une corrélation entre un type d'aphasie et certain pattern de déficits numériques, Delazer & al (1999)[30] incluent dans leur population expérimentale d'autres cérébro-lésés gauches, qu'ils soient aphasiques ou non. Ils comparent ainsi les productions numériques de 50 sujets répartis en cinq groupes[31] : 10 aphasiques amnésiques, 8

[29] D'ailleurs, deux des sept aphasiques moteurs sont agrammatiques (la compréhension de phrases réversibles leur est impossible). Ils commettent une part encore plus significative d'erreurs syntaxiques.

aphasiques de Broca, 7 aphasiques globaux, 12 aphasiques de Wernicke et 13 non aphasiques.

Le tableau 6 résume les résultats obtenus pour les quatre transcodages étudiés:

	Amnésiques (%)	Broca (%)	Wernicke (%)	Globaux (%)	Non Aphasiques (%)	Groupe Contrôle (%)
Lecture CA	**93** (15.7)	**17.5** (27.1)	**24.2** (27.1)	**0** (0)	**70.7** (37.7)	**100**
Ecriture CA	**76** (23.7)	**62.5** (32.9)	**40.8** (30.8)	**4.3** (11.3)	**79.2** (36.8)	**100**
Lecture MN	**90** (14.1)	**45** (38.2)	**31.7** (33.5)	**0** (0)	**73.8** (34)	**100**
Ecriture MN	**57.5** (39.2)	**20.3** (27.5)	**4.2** (8.1)	**0** (0)	**55.8** (47)	**100**

Tableau 7: Pourcentages de réponses correctes dans les tâches de transcodage (*en gras*: moyenne ; *entre parenthèses*: écart-type ; *CA* = code arabe ; *MN* = mots-nombres).
(extrait et traduit de Delazer (1999))

Du point de vue quantitatif, les scores obtenus sont clairement corrélés avec la sévérité des troubles du langage : les aphasiques globaux sont les plus sévèrement déficitaires, tandis que les aphasiques amnésiques ont « seulement de légères difficultés ».

Entre les deux, les aphasiques de Wernicke et de Broca obtiennent des scores globalement similaires, mais *seuls les aphasiques de Broca montrent un effet de format dans les tâches de lecture*. Chez eux, **la lecture du code arabe est significativement plus altérée** (82,5% d'erreurs) **que celle des mots nombres** (55% d'erreurs). Selon les auteurs :

[30] DELAZER,M.,GIRELLI, L.&al.. , « Numerical skills and aphasia », *Journal of the International Neuropsychological society*, **5**, 213-221 (1999).

[31] Les sujets inclus sont droitiers et ont une lésion unilatérale et focale de l'hémisphère gauche (45 étiologies vasculaires, 3 traumatiques et 2 tumorales). Ils ont tous passé un bilan neurolinguistique (Aachener's Aphasia Test, 1991). Un groupe contrôle comprend 15 sujets appariés en âge et en niveau d'instruction.

« Ce résultat indique que les difficultés des aphasiques de Broca dans la lecture des numéraux arabes ne peuvent s'expliquer par de simples problèmes de réalisation arthrique, mais plus probablement par des difficultés spécifiques d'assemblage de la structure syntaxique des numéraux complexes. »

Le problème semble donc se situer au niveau de la **génération du cadre syntaxique.** La dissociation entre lecture de mots nombres et lecture du code arabe s'explique alors parce que :

- la syntaxe verbale est explicite dans les mots nombres, il n'y a donc pas lieu de générer un cadre nouveau et la tâche peut être réussie par une simple stratégie de lecture mot à mot ;

- a contrario, le lecteur doit entièrement construire la structure syntaxique verbale quand le code d'entrée est arabe.

En s'inspirant de la classification des erreurs adoptée par Deloche et Seron (1982), les auteurs mettent ainsi en évidence l'influence du format sur le *nombre* d'aphasiques moteurs qui commettent des erreurs syntaxiques.

> En lecture de mots nombres, 25% de ce groupe commet des erreurs syntaxiques ; la proportion grimpe à 50% pour les numéraux arabes.

Ils trouvent également une forte proportion d'erreurs lexicales chez les aphasiques de Wernicke, ce qui plaide bien en faveur d'une spécificité des profils d'erreurs. Cependant, cette spécificité n'est pas absolue :

- d'une part, les erreurs lexicales et syntaxiques se retrouvent dans tous les groupes, *y compris les non aphasiques*, suggérant qu'elles ne sont pas nécessairement liées à une altération du langage ;

- d'autre part, les aphasiques de Wernicke commettent une part non négligeable d'erreurs syntaxiques[32] et mixtes, même si les confusions lexicales dominent le tableau.

[32] Les déplacements d'items lexicaux sont classés comme erreurs syntaxiques. Les auteurs reconnaissent eux-mêmes que « ce type particulier d'erreurs pourrait être aussi favorisé par des difficultés d'accès lexical ».

Au terme de cette revue des transcodages chez l'aphasique , il semble qu'il faut moins raisonner en terme de *spécificité* qu'en terme de *probabilité de survenue* d' un type d'erreurs.

En effet, être aphasique moteur ne mène pas inéluctablement à commettre des erreurs syntaxiques dans les tâches de transcodage.

En revanche, **la probabilité de commettre ces erreurs est plus importante que chez d'autres cérébrolésés gauches, en particulier dans la lecture des numéraux arabes.**

Ceci étant posé, nous allons à présent nous demander s'il est également possible de dégager des tendances similaires au-delà des simples tâches de manipulation de code. Existe-t-il aussi un « profil » de performances de l'aphasique moteur dans les tâches arithmétiques ?

CHAPITRE 2 :

LE CALCUL ET SES TROUBLES : TRAITEMENTS ARITHMETIQUES ET AIRE DE BROCA.

I. HISTORIQUE : LE CALCUL, UNE FONCTION CEREBRALE MULTIFACTORIELLE.

1) PERIODE ANATOMO-CLINIQUE : ACALCULIES ET PREMIERES DONNEES NEURO-ANATOMIQUES.

La phrénologie est, du point de vue historique, la première tentative de relier les fonctions cognitives, et notamment le calcul, aux structures cérébrales qui les sous-tendent. Gall et Spurzheim, en 1808, proposent ainsi l'existence d'un centre spécifique unique pour « le sens des nombres et des mathématiques » qu'ils situent à l'époque au niveau inférieur des lobes frontaux.

Si les postulats phrénologiques sont rapidement discrédités grâce à l'essor des neurosciences, il faut attendre plus d'un siècle pour que la première étude systématique des troubles du calcul soit menée : c'est Henschen (1918, 1925, 1926) qui, à cette occasion, introduit le terme d'**« acalculie »** qu'il définit comme **« une incapacité à réaliser des opérations arithmétiques suite à une lésion focale du cerveau »**. C'est également à cette époque qu'**on abandonne définitivement l'idée d'une fonction arithmétique monolithique, et d'un centre unique du calcul**. L'observation clinique d'une grande variété de déficits

numériques suggère que cette fonction agrège en fait plusieurs composantes qui peuvent être sélectivement atteintes.
Dans la lignée de ces découvertes, un ensemble d'études voit le jour afin de définir :

(i) des **regroupements sémiologiques** ;

(ii) la **spécificité**, le caractère isolé ou non des troubles du calcul ;

(iii) les **aires cérébrales** sous-tendant les aptitudes numériques.

Tout au long de cette période dite « anatomo-clinique », la recherche s'organise sans références communes et en l'absence d'un cadre théorique homogène. De la sorte, les batteries de tests utilisées, ainsi que les critères choisis pour effectuer les regroupements syndromiques, diffèrent souvent d'un protocole expérimental à l'autre. D'un point de vue strictement méthodologique, il est donc impossible de croiser les résultats de ces études.
Il en ressort néanmoins quelques principes d'ordre général qui répondent aux trois problématiques de départ :

(i) **il n'existe pas une, mais plusieurs acalculies**.

Ce n'est finalement que le corollaire de la diversité des habiletés numériques. A partir de ce constat sont distingués deux types de troubles :

- d'une part, les *troubles du traitement des systèmes de notation numérique* arabe et/ou verbal, en compréhension et/ou en production.
  Autrement dit, ici sont isolés les troubles du système de traitement du *nombre en tant que symbole.* Il s'agit typiquement des troubles du transcodage.

- d'autre part, des *troubles du calcul* proprement dit, qu'il soit mental ou écrit.

(ii) **il existerait une acalculie pure, primaire, et des acalculies secondaires.**

Cette partition théorique des troubles est initiée par Berger en 1926. Elle revient à considérer des altérations *spécifiques et isolées* des procédures de calcul (certains auteurs parlent d'anarithmétie) qu'il convient d'opposer à des *conséquences* d'autres déficits cognitifs (désordres spatiaux, langagiers ou mnésiques)[33], c'est à dire des acalculies secondaires.

(iii) **Les études lésionnelles**, qui visent à définir les corrélats anatomiques du calcul et du nombre, soulignent de façon récurrente **l'importance de lésions postérieures pariétales, temporales ou occipitales** [*bilatérales* pour Henschen (1919, 1925, 1926), *gauches* pour Gerstmann (1930) , *droites* pour Hécaen] ainsi que **l'implication des lobes frontaux** [pour Henschen (id.) , Goldstein (1948) et Luria (1966)] .

2) DISTINCTION ENTRE CONCEPTS ET FAITS ARITHMETIQUES.

La recherche connaît un certain renouveau dans les années 1980 qui voit l'apparition en neuropsychologie des modèles de traitement de l'information. On délaisse les études de groupe au profit des études de cas

[33] Une étude de référence (Hécaen, Angelergues et Houiller, 1961) tente de synthétiser toutes ces données. En analysant les performances de 183 patients, Hécaen et ses collaborateurs distinguent trois profils de sujets acalculiques en fonction de la dominance d'un trouble particulier. Ils isolent alors l'*acalculie spatiale* (omissions, inversions de chiffres, organisation spatiale déviante des opérations écrites, etc.) d'une *acalculie alexique ou agraphique* (lorsque l'altération du langage domine le tableau) et d'une *anarithmétie* (atteinte isolée des procédures du calcul écrit, comme les algorithmes de résolution d'opérations). Cette classification n'a par la suite rencontré qu'un écho relatif.

unique, afin de dégager les composantes de l'architecture cognitive qui sous-tend les activités numériques. Plusieurs modèles émergent, mais le principal est celui des trois modules de Mc Closkey (1992) [ANNEXE 2].

Une revue rapide de ces études de cas confirme d'abord **l'existence de dissociations entre la capacité de transcoder des nombres et l'impossibilité de calculer**[34].

De façon plus fine, elle indique des dissociations comportementales *au sein même du calcul* : **certaines opérations arithmétiques peuvent être sélectivement atteintes** (voir ANNEXE 3).

Cela s'explique au moins partiellement par le fait que, pour résoudre un problème arithmétique, deux stratégies peuvent être recrutées :

1)soit une récupération directe en mémoire : le résultat de problèmes arithmétiques courants et surappris, du type « 3x4=12 », fait partie des connaissances sémantiques générales, des automatismes engrammés en mémoire à long terme. Ces opérations simples et fréquentes constituent chez l'adulte normalement scolarisé des savoirs déclaratifs appelés ***faits* arithmétiques**[35].

2) soit une stratégie computationnelle, une élaboration sémantique, quand le résultat n'est pas directement accessible. C'est le calcul dans son acception courante.

Par exemple, pour la plupart, si le résultat de « 33+24 » n'est pas directement disponible en mémoire, une connaissance *conceptuelle* de l'arithmétique permet de remarquer que :
« 33+24=30+3+20+4=(30+20)+(3+4)=50+7 ».

[34] voir par exemple : Takayama, Y., Sugishita, M., Akiguchi, I., & Kimura, J. , « Isolated acalculia due to left parietal lesion. », *Archives of Neurology*, **51**, p.286–291(1994)

[35] Bien qu'il existe des différences interindividuelles (en fonction de l'âge, du niveau socioculturel, de la pratique, etc.), ce sont typiquement les tables de multiplication de 2 à 9, et certaines additions simples.

Cette stratégie, dite de *décomposition*, s'appuie sur l'*associativité* de l'addition et la connaissance de *la base décimale* des nombres arabes.

L'étude de Delazer (1999), dont nous parlons page 26 et suivantes à propos du transcodage, semble indiquer que des dissociations entre opérations existent au niveau des groupes testés (tableau 8).

	Amnésiques (%)	Broca (%)	Wernicke (%)	Globaux (%)	Non Aphasiques (%)	Groupe Contrôle (%)
Total des faits	**80** (23.3)	**56** (33.9)	**46.4** (41.7)	**31.3** (31.6)	**83.1** (28.7)	**98.7** (2.2)
Addition	**90** (22.4)	**69.7** (39.2)	**48.9** (41.1)	**49** (40.3)	**90.1** (27.6)	**99** (3.7)
Soustraction	**84.3** (23.8)	**66.2** (41.1)	**45.3** (44.7)	**28.6** (35)	**78** (34.3)	**99** (3.7)
Multiplication	**65.7** (39.9)	**32.1** (35.6)	**45.3** (44.3)	**16.3** (37.3)	**81.3** (32.7)	**98.1** (5)

Tableau 8 : Pourcentages de réponses correctes dans les opérations de calcul mental simple ou faits arithmétiques
(*en gras*: moyenne ; *entre parenthèses*: écart-type ;
CA = code arabe ; *MN* = mots-nombres).
(extrait et traduit de Delazer (1999))

D'après ces résultats, **l'addition** simple est l'opération la mieux maîtrisée par tous les aphasiques, tandis que la **multiplication** est l'opération la plus déficitaire. Toutefois, il semble que :

« *Les aphasiques de Broca, en particulier, obtiennent des scores significativement plus faibles en multiplication.* »

Selon les auteurs, ces données peuvent indiquer que la récupération de faits multiplicatifs est sous-tendue par un traitement verbal.

3) L'ARITHMETIQUE EXACTE ET APPROXIMATIVE.

Enfin, certaines études de cas mettent en évidence, dans l'arithmétique, **une distinction entre le calcul exact et l'approximation**.

Ainsi, ***le patient N.A.U.***[36], souffrant d'une lésion étendue de l'hémisphère gauche postérieur, est totalement incapable de donner le résultat d'une opération, aussi simple soit-elle. Il lui est par exemple impossible de sélectionner le résultat de « 1+3= ? » parmi le choix multiple : « 3,4 ou 5 ».

En revanche, il rejette immédiatement un résultat grossièrement faux comme « 1+3=9 »[37]. Ce comportement se retrouve dans beaucoup de ses réponses : il dit qu' « une heure, c'est 50 minutes », il sait comparer des nombres arabes à deux chiffres, ou encore désigner leur position sur une échelle verticale avec 1 et 100 aux extrémités.

Ses réponses ne sont pas exactes ; toutefois, elles ne sont jamais aberrantes.

Ces dissociations comportementales entre une arithmétique simple et plus complexe, d'une part, et entre le calcul exact et approximatif, d'autre part, sont éclairées depuis peu grâce aux techniques de neuro-imagerie fonctionnelle qui suggèrent l'existence de deux réseaux cérébraux du calcul.

---

[36]Cohen, L. & Dehaene, S., « Neglect dyslexia for numbers ? A case report.», *Cognitive Neuropsychology*, **8**, 39-58 (1991)

[37] Il souffre d'une alexie sévère et de troubles du langage en compréhension et en expression. Ses capacités d'identification de chiffres arabes sont préservées.

II. LE RESEAU FRONTAL EXACT ET LE RESEAU PARIETAL APPROXIMATIF :

1)DES ACTIVATIONS FRONTALES OU PARIETALES EN FONCTION DU TYPE DE CALCUL.

La neuro-imagerie fonctionnelle permet de visualiser l'activité cérébrale qui accompagne la réalisation de tâches cognitives ciblées. Elle a pour principe général d'utiliser des capteurs externes pour enregistrer des données qui sont ensuite traitées par ordinateur et converties en images numériques.

Afin de prendre la juste mesure des informations qu'elles offrent, le lecteur pourra se référer à l' ANNEXE 4 où figurent in extenso le principe, ainsi que les avantages et les inconvénients des deux grands groupes de techniques actuels (électrophysiologiques et hémodynamiques).

Nous retenons pour la suite que *chaque groupe de techniques a ses propres limites,* soit au niveau du temps, soit au niveau du lieu. Aussi, pour avoir une réelle vision dynamique des fonctions cérébrales, *nous présentons les résultats d'une étude*[38] (Stanescu-Cosson,2000) *qui couple ces techniques.*

L'objectif est d'observer, chez des sujets droitiers sains, les activations cérébrales pour trois consignes : le calcul exact, l'approximation et une tâche contrôle (appariement de lettres) [ANNEXE 5]. Ils fixent sur l'écran un carré où sont projetés d'abord la consigne, puis les opérations ou les lettres. Enfin, ils sélectionnent la réponse grâce à un bouton. Les stimuli numériques [ANNEXE 6] sont alternativement des additions « simples » (opérandes de 1 à 5) ou « complexes » (opérandes de 6 à 9).
Pour une même addition, on compare les différences d'activation qui interviennent en fonction de la consigne « calcul exact » ou « calcul approximatif ».

[38] STANESCU-COSSON,R. & al. « Understanding dissociations in dyscalculia (...) » *Brain*, 2000, vol.123, p.2240-2255.

❑ L'IRMf révèle une **plus grande activation des lobes pariétaux gauche et droit pour l'approximation** que pour le calcul exact. Un pic d'activité est plus précisément observé sur les flancs des **sillons intrapariétaux, qui semblent constituer le pivot d'un réseau plus étendu** (en jaune, figure 6) impliquant antérieurement le **sulcus post-central** en profondeur et latéralement le **lobe pariétal inférieur**.

> Le sillon intrapariétal est aussi activé par des tâches cognitives à forte composante visuo-spatiale, telles que la rotation mentale[39]ou l'orientation de l'attention[40]. Il est donc possible que de tels composants interfèrent dans l'exécution même des tâches, et que cette région ne soit pas spécifique au calcul. Néanmoins, les stimuli exacts et approximatifs sont ici appariés en difficulté et les caractéristiques de réponse sont identiques. Les auteurs en déduisent que ces activations ne peuvent être attribuées à des artefacts comme les mouvements des yeux et de la main, ou la difficulté attentionnelle ; selon eux, elles sont donc effectivement liées au calcul.

Il y a d'autres foyers d'activation, plus ou moins significatifs [précunéus droit, sulci précentraux gauche et droit et cortex préfrontal (dorsolatéral et supérieur) gauche]. Au total, **la plupart de ces aires est en dehors des aires périsylviennes traditionnelles du langage**.

En revanche, elles coïncident presque parfaitement avec les circuits visuo-spatiaux de la voie pariétale dorsale[41]. La manipulation interne des quantités semble donc impliquer un format visuo-spatial.

---

[39] KAWAMICHI & al., « Temporal structure (...) », *Neuroreport*, 1998.
[40] CORBETTA & al., « Superior parietal activation (...), *Science*, 1995.
[41] Cette voie, aussi appelée « voie où », est connue de longue date en neuropsychologie pour transmettre les informations concernant la position et les déplacements des stimuli dans l'espace visuel.

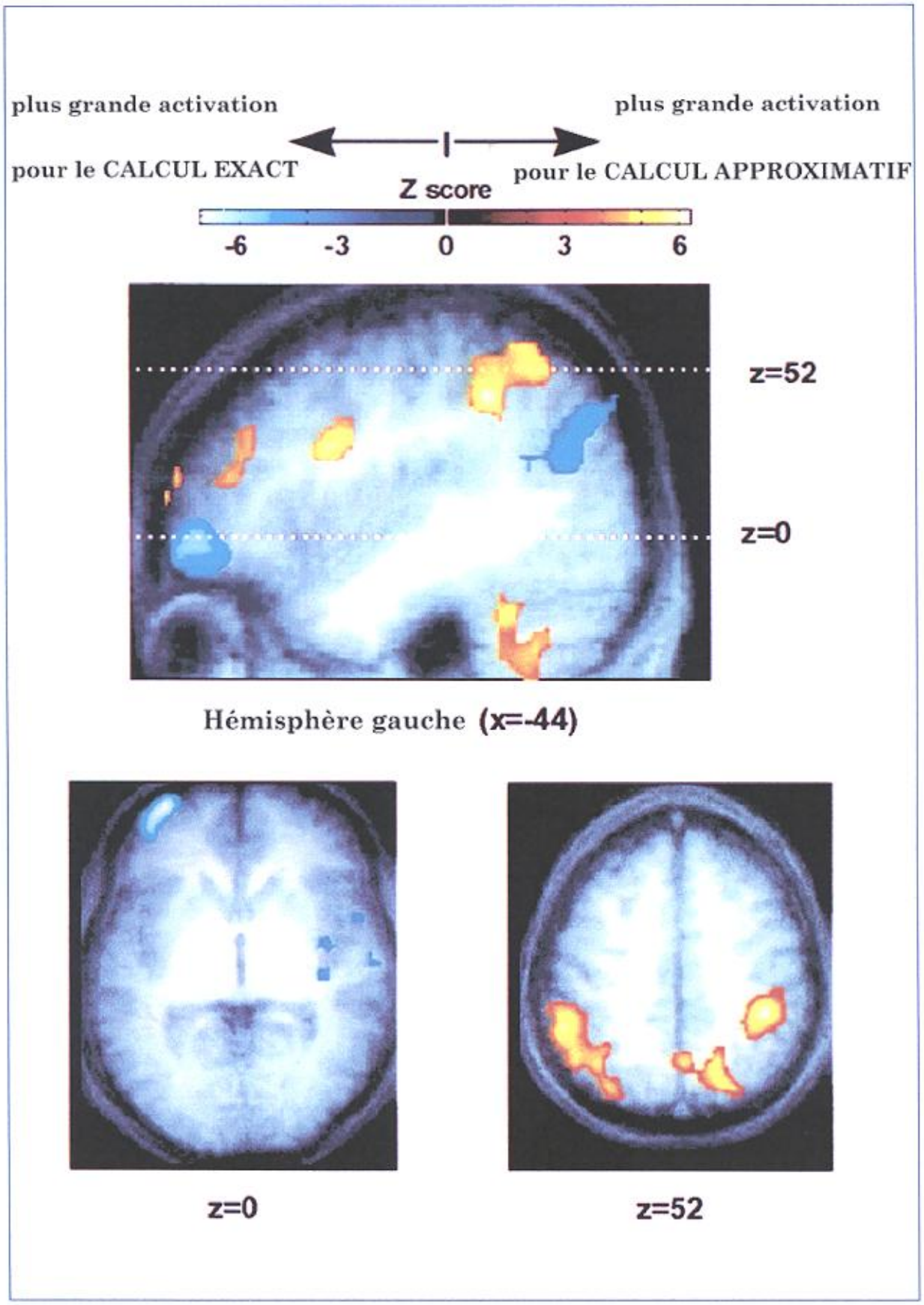


Figure 6 : Distribution des aires activées par le calcul exact (en bleu) et l'approximation (en jaune)
(extrait et traduit de Stanescu-Cosson & al. (2000))

- A contrario, les images tridimensionnelles obtenues lors de la consigne « calcul exact » révèlent une activation très importante **du lobe frontal inférieur**, strictement latéralisée **à gauche.**

De façon moins marquée, il y a également des activations :
- à gauche :au niveau du gyrus cingulaire et du précunéus ;
- à droite : au niveau du sillon pariéto-occipital et du gyrus temporal ;
- bilatérale : au niveau du gyrus angulaire.

Globalement, il ressort de ces résultats **qu'un réseau cérébral gauche** (en bleu, figure 6) **incluant les aires frontales inférieures au voisinage de l'aire de Broca,** le gyrus angulaire et le cingulum[42] antérieur, semble être spécifiquement impliqué dans la récupération des faits arithmétiques routiniers. L'implication des aires motrices du langage suggère qu'ils peuvent être stockés sous forme d'associations verbales.

- **Le recueil des données temporelles confirme l'hypothèse de l'activation différentielle de ces deux réseaux**.

En effet, les potentiels évoqués enregistrés pendant la réalisation des deux types de tâches (figure 7) montrent l'activation précoce, **avant même la présentation des choix de réponses**, des réseaux neuronaux qui leur correspondent.

Pour les auteurs, cela signifie que la dissociation se manifeste déjà au niveau de l'*encodage* de l'opération *(verbal ou visuo-spatial)*, et non à un stade de décision subséquent (*sélection d'un choix de réponse)* qui peut tout à fait s'effectuer à partir d'une représentation unique.
Pour la même addition, c'est la stratégie de calcul elle-même, et non simplement la décision « cible exacte vs cible approximative » qui semble induire l'utilisation de circuits neuronaux distincts.

[42] Le cingulum fait partie du système limbique et a un rôle avéré dans les processus d'apprentissage et la mémoire à long terme.

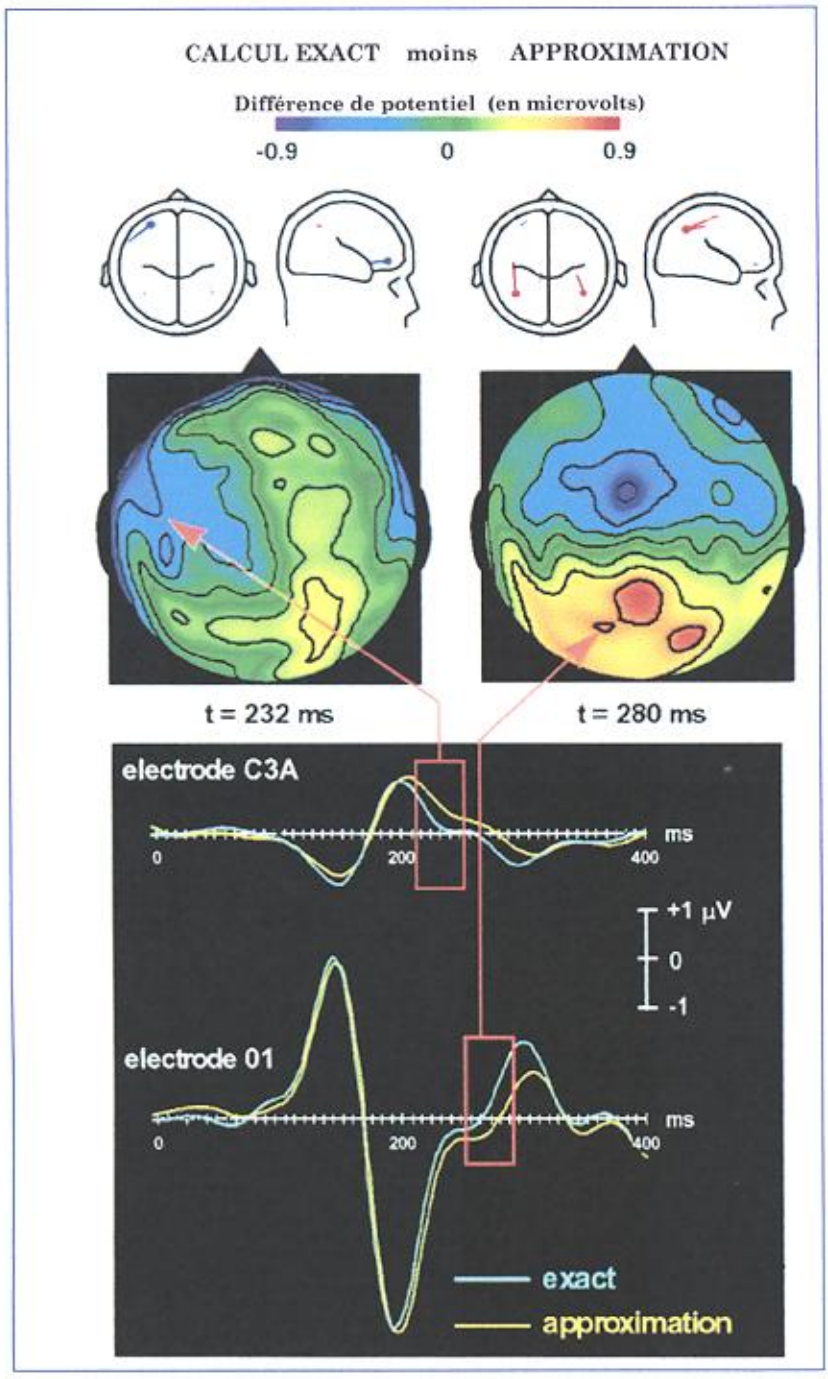


Figure 7: Résultats E.E.G.
Des différences d'activation (rectangles rouges) au niveau frontal gauche et pariétal interviennent en fonction de la consigne « calcul exact » / « approximation » dans une fenêtre de temps (*200 ms< t <300 ms*) antérieure à la présentation des choix de réponses (*t=400 ms*). Pour résoudre un problème strictement identique, deux stratégies de calcul semblent induire un encodage différent des mêmes données.

(extrait et traduit de Stanescu-Cosson & al. (2000))

2)L'EFFET DE TAILLE.

- Enfin, les auteurs soulignent ***l'influence de la taille***[43] ***du nombre sur le type de processus mental mobilisé*** *(i.e. exact ou approximatif).*

L'imagerie fonctionnelle montre, LORS DU CALCUL EXACT :

- une forte activation des aires de traitement phonologique (vaste région gauche incluant insula et gyrus supramarginal) quand la taille diminue.

L'activation de cette zone est compatible avec l'hypothèse que dans le calcul exact avec de petits nombres, les sujets récupèrent rapidement des faits routiniers appris comme des routines verbales.

- une forte activation de l'aire de Broca quand la taille augmente.

De façon plus précise, les coordonnées de ces régions coïncident avec l'activation frontale antérieure observée lors de tâches verbales complexes[44].

Selon les auteurs, cette suractivation de l'aire de Broca pour les nombres de grande taille peut correspondre à une augmentation de la difficulté de traitement au sein du système de récupération des faits arithmétiques. Elle semble se doubler de stratégies computationnelles distinctes, d'élaboration sémantique (par exemple : 9+8 = 10+7 = 17) qui dépendent du système de quantité pariétal.

Autrement dit, **les deux réseaux ne sont pas exclusifs** et peuvent être co-activés pour résoudre, par exemple, des problèmes exacts impliquant de grandes quantités.

Au contraire, LORS DU CALCUL APPROXIMATIF, l'augmentation de la taille du nombre ne s'accompagne d'aucune augmentation locale de flux sanguin. L'interprétation des auteurs est que les sujets peuvent rejeter des résultats grossièrement faux sans passer par le calcul du résultat

---

[43] Ledit « effet de taille » est initialement décrit dans une étude comportementale (ASHCRAFT,M.H.,STAZYK,E.H., « Mental addition (...) ». *Mem Cogn*, 1981) menée auprès de volontaires qui doivent vérifier le résultat d'additions simples, du type « 2+3 = 9 », avec variation systématique de la taille des opérandes et de la distance entre réponse correcte et réponse cible. Les résultats montrent l'interaction des deux critères en terme de temps de réponses, **l'effet de taille diminuant quand la distance augmente**. (par exemple, on répond plus vite à « 2+3 » qu' « 9+8 », mais plus vite à « 9+8=50 » qu'à « 2+3=6 »).

[44] Koechlin E, Basso G, Pietrini P, Panzer S, Grafman J., « The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition », *Nature*, **399**, 148–51(1999).

exact. Toujours selon les auteurs, c'est ce comportement qu'adopte le patient N.A.U. quand il rejette « 1+3=9 ».

3)RESUME

En résumé, il est aujourd'hui acquis qu'**il n'existe pas un, mais des calculs**. Depuis les années 1920, l'ensemble des travaux portant sur les troubles numériques chez le cérébro-lésé indique des dissociations comportementales, en particulier entre :

- l'arithmétique *simple* et *complexe* ;
- l'arithmétique *exacte* et *l'approximation.*

Chez le sujet normal, elles se manifestent respectivement au travers de :

- *l'effet de taille* des opérandes ;
- *l'effet de distance* entre réponse correcte et réponse cible.

Grâce aux données lésionnelles anciennes, on connaît depuis longtemps le rôle crucial des aires frontales et pariétales dans les activités de calcul. L'imagerie cérébrale permet maintenant de mieux comprendre leur rôle respectif :

- **un réseau pariétal** bilatéral, dont le pivot est le sillon intrapariétal, semble être mobilisé par les tâches d'**approximation.**

  Il est à peu près admis que cette stratégie de calcul est à dominante *visuo-spatiale*.

- **Un réseau frontal** à prédominance gauche intervient pour le **calcul exact**.

  L'aire de Broca, qui constitue le pivot de ce réseau, est particulièrement active lors du calcul mental simple. Il semble acquis qu'elle joue un rôle critique dans une *mémoire « langage-dépendante » qui stocke des faits arithmétiques* sous forme d'associations verbales.

- Dans des tâches de calcul mental plus complexe, il semble que **le sujet normal active les deux réseaux** car les savoirs déclaratifs (tables d'opération) servent de base à des traitements conceptuels plus complexes faisant également intervenir le système de quantité pariétal bilatéral.

CHAPITRE 3

SYNTHESE : EVALUATION GLOBALE DES TRAITEMENTS NUMERIQUES ET EC 301.

I. EC 301 : UN TEST GLOBAL , UNE APPROCHE SEMIOLOGIQUE.

1)OBJECTIF : ETABLIR UNE SEMIOLOGIE DES TROUBLES NUMERIQUES CHEZ L'APHASIQUE.

Nous venons de voir que le calcul est une fonction corticale complexe et multifactorielle. Chaque tâche de calcul a des exigences cognitives distinctes :

- d'une part en fonction de son niveau de complexité intrinsèque;

- d'autre part en fonction des degrés d'implication de la mémoire, des traitements visuo-spatiaux et, bien entendu, du langage.

Parler de troubles du calcul de façon trop générique revient à le considérer comme une fonction insécable. Or, les classifications pathologiques de la période anatomo-clinique sont anciennes et ne rendent pas compte de la

distinction récente entre systèmes arithmétiques exact et approximatif. Aucune d'entre elles n'est unanimement reconnue, ce qui explique qu'aujourd'hui, *il n'existe aucun test diagnostique* consensuel dans le domaine du calcul. Nous ne pouvons donc utiliser aucun test au terme duquel il est possible de déterminer si l'aphasique moteur est acalculique (**approche toxonomique**).

En revanche, il est possible de lister un certain nombre d'activités arithmétiques qui balaient un grand nombre de significations et d'usages du nombre, puis d'observer dans des études de groupe si les aphasiques moteurs présentent des conduites constantes dans une ou plusieurs de ces activités. Cette approche, dite *« tâche-orientée »,* permet alors de dégager des tendances qui ont une portée générale, puisqu'elles procèdent d'études de groupe, mais qui sont toujours en rapport avec des activités numériques précises. Il s'agit d'une **approche sémiologique descriptive.**
Une fois ces données collectées, il est toujours possible de les analyser en utilisant un ou plusieurs cadres théoriques, c'est à dire de les interpréter en fonction d'un modèle neuropsychologique des traitements numériques.

C'est précisément la démarche méthodologique qui a présidé à l'élaboration de l'EC301, un outil d'évaluation standardisé du calcul et du traitement du nombre chez le cérébrolésé. Il est conçu par une équipe de neuropsychologues européens (Deloche, Seron, Baeta & al.) en 1993.
C'est également pourquoi nous choisissons pour cette étude sémiologique de faire passer la version française de ce test à un groupe de 10 aphasiques moteurs. Voici sommairement décrits le principe et la composition de ce test. Nous sommes amenés à revenir en détail sur certaines épreuves par la suite.

2)PRINCIPES DE L' EC301.

La batterie d'évaluation comprend **13 tâches** différentes, dont certaines se subdivisent en plusieurs sous-tâches. Il y a un total de 31 épreuves qui sont sélectionnées non par rapport à un modèle cognitif des traitements numériques, mais parce qu'elles rendent compte de la diversité des aspects liés à la manipulation mentale des nombres.

Les auteurs regroupent ces aspects sous ***4 grandes catégories*** :

- **les différentes significations numériques** dans des contextes exacts (connaissances numériques précises) ou approximatifs (estimation de l'ordre de grandeur, échelle analogique, comparaison,...) ;

- **l'évaluation perceptive** (estimation de poids, de mesure, dénombrement de collections de points avec différents arrangements spatiaux,...) ;

- **le composant langagier**, dans des épreuves de transcodage ou de production de suite de nombres ;

- **le système de calcul**, avec le résultat de tables d'opérations (faits arithmétiques) et le calcul effectif de quelques opérations plus complexes.

Parce qu'elle vise à ***un dépistage*** des troubles numériques, la batterie ne présente pas un haut niveau de complexité, afin de ne pas situer comme pathologique un faible niveau scolaire d'acquisition arithmétique.

Après avoir subi de multiples révisions, la batterie a été étalonnée dans le cadre d'une étude multicentrique (France et Belgique) auprès de

180 sujets normaux répartis par âge (3 tranches), sexe et niveau scolaire (3 catégories). Les différents items doivent être réussis par une moyenne d'au moins 90% des sujets contrôles.

3)DESCRIPTION DES DIFFERENTES EPREUVES.

Au terme de la phase de standardisation, les 13 épreuves finalement retenues sont :

1. **COMPTAGE** (3 subtests) : il s'agit de produire dans différents codes (phonologique, orthographique et arabe) une séquence de nombres, en avant ou à rebours, suivant trois intervalles (1, 3 et 10).

2. **DENOMBREMENT** (5 subtests) : cette tâche évalue la capacité d'extraire la numérosité d'une collection d'éléments discrets (des points) qui varient dans leur configuration spatiale.

3. **TRANSCODAGES** (7 subtests) : les 6 transcodages possibles entre codes phonologique, orthographique et arabe, plus la répétition de mots nombres. Chaque subtest comprend 6 nombres qui s'étalent entre 100 et 100 000.

4. **SIGNES ARITHMETIQUES** (2 subtests) : dénomination et écriture sous dictée de 4 signes : +, -, x et =.
   Le signe ÷ ne figure pas dans le test, parce qu'il est échoué par plus de 10% des sujets dans la phase d'étalonnage.

5. **COMPARAISON DE NOMBRES** (2 subtests) : le sujet doit pointer le plus grand parmi deux nombres présentés par écrit (code alphabétique et arabe).

6. **CALCUL MENTAL** (2 subtests) : par oral ou écrit, le sujet mobilise des faits arithmétiques ou réalise des opérations simples qui impliquent des chiffres de 1 à 9. Cette épreuve comporte au total 16 items.

7. **ESTIMATION DU RESULTAT D'UNE OPERATION** : pointage de la meilleure approximation (4 propositions) du résultat d'opérations. Les opérations et les résultats sont présentés dans le code digital.

8. **POSITIONNEMENT DE NOMBRE SUR UNE ECHELLE ANALOGIQUE** (2 subtests) : sur une échelle de 0 à 100, le sujet fait correspondre un nombre (en chiffres ou dicté) et une des 4 graduations qui lui sont présentées.

9. **POSER UNE OPERATION** : le sujet doit réaliser la simple disposition spatiale conventionnelle des quatre opérations sans en rechercher le résultat.

10. **CALCUL ECRIT** : il s'agit de résoudre deux additions, deux multiplications et deux soustractions qui impliquent des nombres à deux ou trois chiffres. Cette épreuve nécessite donc l'accès aux faits arithmétiques et la mise en œuvre de procédures de calcul [retenues(+/x) et emprunts (-)].

11. **ESTIMATION PERCEPTIVE DE QUANTITES** : le sujet fournit sur photos, dans le code qu'il choisit, une estimation de poids, de hauteur, de longueur et de numérosités présentées en tas pendant seulement cinq secondes.

12. **JUGEMENT CONTEXTUEL DE QUANTITES** : le sujet interprète la magnitude de nombres en rapport à des contextes concrets. Par exemple, il doit déterminer si « 8 assiettes pour un restaurant », c'est peu, moyen ou beaucoup en pointant une de ces trois propositions.

13. **CONNAISSANCES NUMERIQUES** : ici, on évalue des connaissances sémantiques générales, comme le nombre de doigts dans une main ou le nombre de jours dans une semaine. La modalité de réponse est totalement libre.

La cotation prévoit deux points pour chaque subtest réussi. Tout échec est coté 0, sauf dans quelques cas particuliers, où l'examinateur peut attribuer 1 point (consigne partiellement respectée ou répétition de l'item).

II. LES APHASIQUES MOTEURS ET L'EC301.

A ce jour, une seule étude de groupe incluant des aphasiques moteurs a utilisé ce test.

En 2000, Anna Basso & al[45] font passer la batterie de l'EC301 à 50 cérébro-lésés gauches et 26 cérébro-lésés droits, dans l'objectif d'étudier l'influence d'altérations du langage et de troubles spatiaux sur les performances numériques. Après un bilan neurolinguistique (Miceli & al., 1991), les cérébro-lésés gauches se subdivisent en trois groupes : 16 Broca, 18 Wernicke et 16 non aphasiques.

[45] BASSO, A., BURGIO, F. & CAPORALI, A., « Acalculia, aphasia and spatial disorders in left and right brain-damaged patients », *Cortex*, **36**, 265-280 (2000).

1)PRESENTATION DES RESULTATS

Bien que le protocole de l'EC301 ne le prévoie pas initialement, les auteurs appliquent des procédures statistiques, sur la base des résultats qu'ils obtiennent avec un échantillon de 211 sujets-contrôles, pour déterminer dans chaque groupe 3 classes[46] qui diffèrent significativement dans la distribution de leurs scores :

- **une classe pathologique ;**
- **une classe border-line ou limite ;**
- **une classe normale.**

L'avantage de cette classification est qu'elle permet de situer pour chaque tâche le nombre de patients en fonction d'un certain degré d'atteinte

L'inconvénient est la notion statistique de groupe limite, qui regroupe des patients « moyennement » pathologiques et des patients « moyennement » normaux sans toutefois en préciser la proportion.

Les auteurs ne tirent donc de conclusions fermes que par rapport aux deux autres classes.

Nous rapportons par la suite les résultats qui concernent directement les aphasiques de Broca (pour un résumé synoptique, voir tableau 9).

[46] Le groupe contrôle comprend 211 sujets. L'influence de l'âge, du sexe et du niveau d'instruction est estimée pour chaque subtest au moyen d'une analyse par régression multiple. Le score est ajusté pour chaque tâche avec une équation qui assigne une valeur constante à ces trois variables. A cause de la non-normalité de la distribution des scores, des procédures non paramétriques avec limites supérieure et inférieure de tolérance déterminent trois classes. La classe « pathologique » comprend les patients avec un score inférieur à la limite supérieure, qui ont p=0.05 (confiance >0.98) de ne pas appartenir à la classe « normale ». Les patients avec un score plus haut que la limite supérieure ont p=0.05 (confiance>0.96) d'appartenir à la population normale. Les patients de la classe « limite »(score entre limite supérieure et inférieure) peuvent appartenir à la classe normale ou pathologique.

Tâches de L'EC301	Broca : Distribution par groupe de scores (%)			Comparaisons inter-groupes : (*=différence statistiquement significative)		
	Pathologique	Limite	Normal	Broca Vs Contrôles	Broca Vs Wernicke	Broca Vs non aphasiques
1-Comptage	44	12	44	*		
2-Dénombrement	31	6	63	*		
3-Transcodages	81	13	6	*		*
4-Signes arithmétiques	6	44	50			
5-Comparaison	19	12	69			*
6-Calcul mental	44	25	31	*		*
7-Approximation	50	31	19	*		*
8-Echelle analogique	6	19	75			
9-Pose d'opérations	0	25	75			
10-Calcul écrit	6	44	50	*		
11-Estimation perceptive	12.5	12.5	75			
12-Jugement contextuel	12.5	37.5	50	*		
13-Connaissances num.	6	63	31	*		

Tableau 9 : Performances des aphasiques de Broca aux 13 tâches de l'EC301.
(synopsis des données recueillies par Basso & al. (2000))

2)ANALYSE DES RESULTATS : TACHES ALTEREES ET PRESERVEES (en référence à l'étude)

- **L'ANALYSE DES RESULTATS DU GROUPE BROCA PERMET DE DISTINGUER DEUX GROUPES DE TACHES :**

  - **Tâches significativement altérées par rapport au groupe contrôle : *8 tâches/13.***

Les *transcodages* constituent la difficulté la plus saillante (seuls 6% de scores « classe normale »). Au total, ce groupe commet 216 erreurs. Malgré une classification légèrement différente de celle de Deloche, les erreurs syntaxiques prédominent une fois encore (28.7%), devançant des erreurs d'orthographe (25%), d'omission(7.5%) et mixtes (6.5%).

Les 7 autres tâches sont échouées de façon moins systématique (tâches 1, 2, 6, 7, 10, 12 et 13). La proportion de comportements clairement pathologiques est même relativement faible pour le calcul écrit (6% du groupe), le jugement contextuel de quantités (6%) et les connaissances numériques précises (12.5%).

  - **Tâches relativement préservées par rapport à la normale : *5 tâches/13*.**

Si l'on excepte les signes arithmétiques et la pose d'opérations, qui ont selon les auteurs une forte composante visuo-spatiale, *il est remarquable que ces tâches relèvent toutes de l'approximation*, et requièrent la manipulation de magnitudes, d'ordres de grandeurs, plutôt que celle de représentations numériques discrètes et exactes.

3) COMPARAISON INTER-GROUPES

- **D'AUTRE PART, LA COMPARAISON ENTRE LES GROUPES DE CEREBRO-LESES GAUCHES INDIQUE :**

- **qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les scores des deux groupes d'aphasiques.**

Les auteurs en déduisent que « le pattern de leurs déficits [numériques] ne reflète pas les difficultés psycholinguistiques typiques de l'aphasie de Broca et de Wernicke ». Selon nous, cela tient largement au fait que l'EC301 n'est pas sensible aux différences qualitatives dans son système de cotation.

- **Que les aphasiques sont significativement plus déficitaires que les non aphasiques dans trois tâches *: les transcodages, le calcul mental et la comparaison de nombres.***

En ce qui concerne le calcul mental, il est possible que l'encodage verbal des faits arithmétiques pénalise davantage les aphasiques que les autres.
En revanche, nous n'expliquons pas pour l'instant les performances péjoratives en tâche d'approximation de résultats d'opérations. A priori, elles ne sont pas cohérentes avec l'apparente préservation d'autres habiletés arithmétiques approximatives.

En résumé, , l'aphasique moteur présente, en synthétisant les éléments des diverses études, un différentiel de performances aux tâches de l'EC301 dans :

❑ **les traitements numériques élémentaires :**

Les tâches de manipulation de codes sont les plus sévèrement altérées, en raison des déficits syntaxiques que présentent ces patients. Les

transcodages constituent une difficulté systématiquement rapportée dans toute la littérature.

Les tâches de comptage et de dénombrement sont également déficitaires, mais de façon moins tranchée (respectivement 44% et 63% de comportements normaux).

Les performances sont en revanche normales quand il s'agit de comparer deux nombres ou de les placer sur une échelle analogique, ce qui signifie que les aphasiques de Broca peuvent juger de magnitudes relatives et estimer la numérosité figurée par des nombres.

- **les traitements arithmétiques :**

Les tâches qui appellent la computation d'un résultat exact sont toutes déficitaires. Il semble même que l'arithmétique simple (épreuve 6) soit plus altérée que le calcul complexe (épreuve 10).

L'objectif principal de ce mémoire est de dresser une sémiologie des troubles numériques chez l'aphasique moteur. Le présupposé est qu'il est possible de les systématiser et que les données théoriques synthétisées sont réplicables. **L'objectif annexe** est de contribuer à une meilleure compréhension des troubles.

Pour répondre à ces deux objectifs, nous menons une expérimentation dont nous présentons le dispositif ainsi que les résultats en deuxième partie.

Il s'agit de **recueillir les résultats d'un groupe de 10 aphasiques moteurs dans les différentes tâches de l'EC301** *(objectif principal).*

Pour mieux comprendre les stratégies effectivement mobilisées lors du calcul mental simple, nous instaurons un **chronométrage dans l'épreuve 6** *(objectif annexe).*

Deuxième partie :

METHODES

&

RESULTATS

CHAPITRE 1 :

METHODES ET PARTICIPANTS.

I. POPULATION

1) CRITERES D'INCLUSION

A. LIES AUX TROUBLES PHASIQUES

Nous ne procédons personnellement à aucune évaluation de langage. Celle-ci est réalisée au préalable par une orthophoniste du Centre de Réadaptation de Lay Saint Christophe (Meurthe et Moselle) où séjournent les patients au moment de la passation de l'EC301. Au moment du test, le dernier bilan de langage remonte à deux mois au maximum.

Les déficits neurolinguistiques sont à chaque fois objectivés au moyen de l' H.D.A.E.[47], un bilan de langage standardisé qui permet d'évaluer séparément traitements phonologiques, lexico-sémantiques et syntaxiques. Les résultats obtenus aux différentes épreuves sont récapitulés à la fin du test. Ils servent à établir une courbe (le Z-score) qui indique le profil des troubles phasiques du patient. Les patients sont inclus s'ils présentent les déficits neurolinguistiques caractéristiques de l'aphasie type Broca.

Le diagnostic de l'aphasie corticale motrice repose sur deux signes essentiels :

[47] Il s'agit de la version française du B.D.A.E : *Boston Diagnostic of Aphasia's Examination* (Goodglass & Kaplan, 1972). L'adaptation est réalisée par Mazaux & Orgogozo en 1982.

1- *expression orale spontanée peu fluente* et présence de troubles arthriques responsables de transformations phonétiques et/ou phonémiques ;
2- *compréhension orale supérieure à l'expression orale spontanée*, permettant a minima la saisie de mots isolés et l'exécution de consignes simples (structures syntaxiques du type phrase noyau(sujet-verbe)).

B. LIES A LA LESION

❑ ETIOLOGIE :

Les troubles phasiques résultent d'un accident vasculaire cérébral ischémique ou hémorragique. Sont exclus de l'étude les étiologies tumorales, traumatiques, neuro-dégénératives ou infectieuses.

❑ TOPOGRAPHIE :

La lésion vasculaire doit se limiter aux aires de production du langage de l'hémisphère gauche.

Selon Kertesz (1983)[48], les lésions circonscrites à l'aire de Broca (pied de la troisième circonvolution frontale gauche) ne provoquent qu'une aphasie motrice transitoire qui guérit rapidement.

Le plus souvent, la topographie lésionnelle est plus large et inclut des régions avoisinant l'aire de Broca:

- partie inférieure du gyrus post-central
- deuxième circonvolution frontale
- insula antérieur
- partie adjacente du cortex temporal ou pariétal
- putamen
- noyau caudé
- capsule interne

[48] Cité in LECHEVALIER,B & al., « Aphasies et langages pathologiques », *Editions techniques-Encycl.Méd.Chir. (Paris, France), Neurologie*, 17-018-L-10 (1994).

« En définitive, l'aphasie de Broca persistante avec agrammatisme et diminution de la fluence verbale est associée à un large infarctus frontopariétal avec généralement une extension sous-corticale ».

❑ DELAI POST-LESIONNEL :

Dans ce cas, les signes typiques de l'aphasie motrice n'apparaissent pas d'emblée, mais au terme de plusieurs semaines ou plusieurs mois d'évolution d'une aphasie initialement plus globale, voire d'un mutisme complet. Ils en constituent donc la séquelle stable et plus ou moins définitive.

C'est pour cette raison que sont exclus du groupe d'étude les sujets pour lesquels la lésion est intervenue en-deçà d'un délai de six mois au moment du test. Il est généralement admis qu'au bout de cette période, dite d'inhibition psycholinguistique, la sémiologie des troubles phasiques commence à se stabiliser.

C. LIES AUX TROUBLES ASSOCIES

❑ TROUBLES VISUO-SPATIAUX :

Les sujets bénéficient tous d'une évaluation neurologique et neuropsychologique à leur entrée au centre de réadaptation fonctionnelle. Sur consultation du dossier médical, sont automatiquement exclus du groupe les patients pour lesquels une héminégligence visuelle unilatérale ou tout autre trouble visuo-spatial associé est clairement mis en évidence.

❑ TROUBLES MOTEURS :

Sur le plan moteur, les déficits associés sont indifférents, sauf s'ils interdisent la réalisation de tout geste graphique, même avec le membre supérieur non dominant.

D. LIES AUX CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

Les critères de sélection liés aux caractéristiques démographiques de la population sont les suivants :

- *sexe* : indifférent ;
- *limites d'âge* : entre 20 et 75 ans inclus;
- *durée de scolarisation formelle* : elle doit être supérieure ou égale à 9 ans [niveau troisième ou équivalent(certificat de fin d'études)], pour qu'un faible niveau prémorbide ne soit pas assimilé à une pathologie spécifique.

2) EXCLUSION *POST HOC* D'UN PATIENT

La passation de l'EC301 concerne au total 11 personnes. Cependant, un patient est exclu a posteriori . Un hématome frontoinsulaire aigu, survenu en décembre 2000, entraîne chez lui une prédominance de troubles phasiques moteurs qui justifie la passation du test.
Néanmoins, le traitement des résultats met à jour deux incohérences : la présence de paragraphies sémantiques et d'épisodes de jargon.

> Dans l'épreuve I C (production écrite de la séquence des nombres dans le code alphabétique), nous relevons des transformations aphasiques du type :
> « Quatre→quart » ou « sept→septembre ».
> En outre, la répétion de nombres aboutit subitement à une pseudo-logorrhée d'où émergent parfois un ou deux noms de chiffres.

La consultation du dossier médical indique qu'un accident vasculaire hémorragique est déjà intervenu en 1996, mais au niveau de la capsule externe gauche : il donne à l'époque une jargonaphasie. Au vu des éléments relevés dans le test, il est possible que subsiste une composante sensorielle dans l'expression orale et écrite, et que ce patient présente des troubles « mixtes » à prédominance motrice. Dans le doute, nous sommes en tout cas obligé de l'exclure du groupe-test.

Le groupe final comprend donc 10 aphasiques moteurs.

3) PRESENTATION DU GROUPE-TEST

Le tableau 10 synthétise les caractéristiques démographiques de chaque patient, ainsi que la topographie, l'âge et l'étiologie exacte de la lésion.

patient	Age au moment du test	Sexe	Localisation lésionnelle	Type d'accident vasculaire	Distance par rapport à l'AVC au moment du test (mois)
1	34 ans 5 mois	M	Territoire sylvien supérieur et profond	Ischémique secondairement hémorragique	7
2	55 ans 2 mois	F	Territoire sylvien	Ischémique	15
3	57 ans 6 mois	F	Noyau caudé et lenticulaire, territoire sylvien superficiel et profond	Ischémique	6
4	54 ans 8 mois	M	Territoire sylvien superficiel et profond	Ischémique	12
5	36 ans 2 mois	F	Territoire sylvien superficiel et profond	Ischémique secondairement hémorragique	7
6	57 ans 4 mois	M	Territoire sylvien superficiel et profond	Hémorragique	10
7	74 ans 6 mois	F	Territoire sylvien superficiel et profond	Ischémique	9
8	52 ans 4 mois	M	Territoire sylvien superficiel et profond	Ischémique	23
9	54 ans 10 mois	M	Territoire sylvien superficiel et profond	Hémorragique	6
10	59 ans 5 mois	F	Territoire sylvien profond	Hémorragique	44
Moyenne	*53 ans 6 mois*	*F :50% M :50%*	-	**Ischémique:50% *Hémorragique :30% *Ischémique & Hémorragique :20%*	*13,9*

Tableau 10 : Résumé des caractéristiques démographiques et lésionnelles du groupe-test (n= 10 aphasiques moteurs).
(F=féminin ; M=masculin)

Le groupe comporte **5 femmes et 5 hommes**. L'âge moyen est de **53 ans 6 mois** ; il varie de 34 ans 5 mois pour le plus jeune des patients à 74 ans 6 mois pour la plus âgée.

Au moment du test, **la lésion date en moyenne de 13,9 mois** ; le délai le plus court après l'accident vasculaire est de 6 mois, le plus long est de 44 mois.

Les localisations lésionnelles (objectivées par CT-scanner) sont relativement homogènes et intéressent toutes a minima la **vallée périsylvienne au niveau frontal inférieur gauche.**

L'étiologie est **ischémique** dans 50% des cas, **ischémique secondairement hémorragique** (hémorragie iatrogène) dans 20% des cas et **hémorragique** dans 30% des cas.

Sur le plan moteur, tous les patients présentent un déficit associé. Outre une apraxie bucco-faciale responsable de troubles arthriques plus ou moins marqués, 8 patients présentent une hémiplégie sensitivo-motrice droite à prédominance brachio-faciale, et 2 une hémiparésie droite.
Seuls 2 patients ont récupéré une mobilité suffisante pour se servir de la main droite lorsque les épreuves nécessitent une production graphique ; les 8 autres utilisent tous la main gauche.

Le bilan neurologique objective une hémianopsie latérale homonyme droite pour 2 patients, mais il n'existe dans le groupe aucun déficit visuo-spatial avéré, en particulier aucune héminégligence. Il est fait mention explicite d'une « dyscalculie » dans le dossier médical de 3 des 10 participants.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

1) DEROULEMENT DU TEST :

La phase expérimentale s'étale sur 8 mois : le premier patient est testé en septembre 2001, le dernier en mai 2002.

La patiente n°7 est testée au service d'orthophonie du centre Jacques Parisot de Bainville-sur-Madon (département 54). Pour les 9 autres sujets du groupe, la passation de l'EC301 se déroule au sein de la structure de prise en charge (C.R.F. de Lay Saint Christophe (54)), dans une salle fermée et silencieuse, prévue à cet effet.

Après les présentations d'usage et une brève explication de l'objectif du test (environ 5 minutes), le sujet s'installe en face de l'examinateur et la passation peut commencer.
Il faut en moyenne 1 heure et 10 minutes pour réaliser la totalité des épreuves, principalement en raison de la lenteur d'exécution du geste graphique. Tous les sujets présentent des capacités d'attention suffisamment soutenues pour passer la batterie de calcul en seule session ; nous nous enquérons cependant régulièrement de leur état de fatigue.

2) AMENAGEMENTS

Pour des raisons pratiques, il est procédé à quelques aménagements personnels :

- **les feuillets du test sont séparés en deux parties** en fonction de leur destination : un « cahier de l'examinateur » rassemble les consignes, les principes de passation et de cotation des

épreuves, et le « cahier du patient » rassemble les épreuves proprement dites. Dans la présentation en cahier unique, la numérotation des feuillets fait alterner chaque épreuve avec la consigne qui lui correspond. En situation de face à face, l'examinateur peut donc à chaque fois lire les directives sur la page qui est tournée vers lui, tandis que le patient réalise l'épreuve présentée sur l'autre page.
L'intérêt de la séparation en deux cahiers est d'interdire au patient de lire à l'envers les résultats qui figurent, en même temps que consignes et cotation, sur certains des feuillets de l'examinateur.

- **Un cache en carton avec une fenêtre rectangulaire** centrale permet de présenter des items ligne par ligne quand la consigne de passation l'exige ;

- Nous prévoyons à chaque fois **une feuille où sont consignées les transcriptions phonétiques des épreuves orales** et, le cas échéant, des remarques particulières concernant le comportement du patient.

- Il est procédé au **chronométrage** des épreuves de calcul mental (subtests 6A et 6B) ; ce point mérite une attention particulière.

3) CHRONOMETRAGE DE L'EPREUVE 6

A. PRINCIPE :

Dans la présentation théorique des différents types de calcul, il est établi que **le sujet normal utilise deux stratégies différentes**, en fonction de la nature de l'opération et de la taille des opérandes :

- **Soit une stratégie directe** (récupération directe du résultat des faits arithmétiques en mémoire) ;
- **Soit une stratégie indirecte** (calcul du résultat d'opérations moins courantes avec utilisation des connaissances conceptuelles de l'arithmétique).

La stratégie directe semble emprunter les aires antérieures gauches du langage, le résultat des faits arithmétiques étant récupéré par simple association verbale.

En ce qui concerne les faits additifs simples, nous renvoyons le lecteur à l'étude de Stanescu-Cosson (page 36 et suivantes) ; Delazer (page 34) suggère qu'ils sont relativement préservés par rapport aux multiplications chez l'aphasique moteur.

Il faut donc s'attendre à observer chez les aphasiques des différences de performances en fonction du type d'opération pour les différents items du calcul mental . La multiplication doit être particulièrement déficitaire, si on admet que les voies cérébrales qui permettent la récupération verbale directe du résultat en mémoire sont lésées.

> A ce propos, indiquons qu'une récente étude IRMf[49] s'est intéressée aux activations régionales du cerveau pour des produits simples (opérandes à 1 chiffre) présentés dans le code digital. Les auteurs font valoir que la multiplication et la mémoire des nombres partagent un réseau intégré de régions du cerveau, mais que :
>
> *« Le lobe frontal gauche est plus actif dans une tâche de multiplication que dans une tâche de mémoire. Il semble jouer un rôle important dans la multiplication mentale de nombres présentés visuellement ».*

D'après les chiffres présentés par Delazer, **l'échec en multiplication est certes important ; toutefois , il n'est pas total. C'est ce point**

[49] Fulbright & al., « Cerebral activation during multiplication : A functional MR Imaging studyof number processing », *American Journal of Neuroradiology*, **21**,1048-1054 (2000).

particulier que nous voulons mieux comprendre (objectif annexe de ce mémoire).

En fait, une série d'études[50] (LeFevre, 1996) indique qu'un sujet sain peut aussi utiliser des procédures *indirectes* pour résoudre les problèmes arithmétiques simples.

Pour les multiplications, il existe ainsi des stratégies compensatoires qui consistent à :

- *dériver des faits ;*

Exemple : « 6x5 = 5x5 + 5 »

- *passer par des séries numériques ;*

Exemple : « 6x5 = 5, 10, 15, 20, 25, 30 »

- *procéder par additions répétées.*

Exemple : « 5x2 = 5+5 »

A priori, il est tout à fait possible que des participants ayant une bonne connaissance conceptuelle de l'arithmétique mettent en place spontanément ces stratégies compensatoires et puissent fournir un résultat correct à des faits arithmétiques de façon indirecte. D'autre part, il est impossible d'exclure a priori que certains patients puissent accéder directement au résultat en mémoire verbale.

Ainsi, en cas de bonne réponse, deux hypothèses sont possibles :

- *Soit la récupération directe est possible, ce qui implique un temps de réponse relativement faible ;*

[50] LeFevre, J. & al., « Multiple route to solution of single-digit multiplication problems », *Journal of Experimental Psychology : General*, **125** (3), 284-306 (1996a).

- *Soit le produit n'est pas directement disponible,* malgré les tentatives spontanées du sujet : il y a d'abord conflit cognitif, puis adoption d'une stratégie moins économique, mais efficace.

Dans ce cas, à opérandes comparables, **le temps de réponse doit être beaucoup plus long pour les multiplications** que pour les autres opérations, non seulement en raison du changement de stratégie, mais aussi parce que la dérivation consiste à réaliser plusieurs opérations successives.

Quand un sujet fournit le résultat correct d'une opération simple, il peut donc avoir mobilisé l'un ou l'autre de ces processus mentaux. Or, les résultats quantitatifs du test ne permettent pas, à eux seuls, de lever cette ambiguïté. En revanche, des données temporelles peuvent fournir des indications qualitatives précieuses quant à la nature, directe ou indirecte, de la stratégie de résolution adoptée.

C'est pourquoi il est procédé à un chronométrage systématique des temps de réponses pour chaque opération de l'épreuve 6. Nous en décrivons les modalités précises ci-après.

B. MODALITES :

A l'oral (tâche 6 A), le chronomètre démarre au moment où l'examinateur prononce la première syllabe de l'énoncé du problème. Il est arrêté dès qu'une réponse est ébauchée par le patient, afin de minimiser l'influence sur les temps de réponses de difficultés articulatoires qui varient nécessairement selon les individus.

A l'écrit (tâche 6B), les opérations sont présentées l'une après l'autre au moyen du cache créé à cet effet. En procédant de la sorte, la mesure des temps de réponses peut débuter au moment précis où l'examinateur dévoile l'item au patient. Le chronomètre est arrêté dès qu'une transcription commence, cette fois pour minimiser l'influence des

déficits moteurs sur les temps de réponses (i.e., la lenteur plus ou moins prononcée dans l'exécution du geste graphique).

C. DEFINITION DES TEMPS MESURES

Il est possible de décrire schématiquement trois grandes étapes entre le moment où l'opération est présentée au patient et la production d'une réponse :

1- présentation écrite ou orale du problème ;

2- calcul de la réponse ;

3- production orale ou écrite de la réponse.

Sur la base des modèles cognitifs classiques de traitement de l'information[51], il est aussi possible de décomposer cette séquence de la façon suivante :

t1 = temps de *présentation* et *d'encodage* des stimuli (identification des stimuli après analyse visuelle ou auditive) ;

t2 = temps de *traitement arithmétique* (recherche du résultat) ;

t3 = temps de *planification motrice* du résultat (intervention de la mémoire de planification phonologique ou graphique) ;

t4 = temps de *production* de réponse (réalisation arthrique ou graphique).

Les temps t chronométrés représentent donc :

$$t = t1 + t2 + t3.$$

Nous justifions ce choix par les considérations suivantes :

[51] par exemple, le modèle de Patterson & Shewell (1987) pour la reconnaissance, la compréhension et la production verbales.

(a) *Dans les deux cas*, à l'oral comme à l'écrit**, les temps mesurés représentent des processus du même ordre**, de l'encodage initial des opérations à la production motrice d'une réponse. **Entre ces deux étapes intervient nécessairement le temps qui nous intéresse** plus particulièrement, celui consacré à la recherche du résultat de l'opération (t2 = temps du traitement arithmétique proprement dit).

(b) **L'objectif de mesurer exclusivement le temps de calcul (t2) est en pratique irréalisable**, en particulier pour la présentation écrite silencieuse, où aucune donnée concrète ne permet à l'examinateur de savoir quand se termine l'encodage et quand débute le traitement arithmétique à proprement parler. Il est impossible, en temps réel, de séparer ces deux étapes de traitement et donc, de mesurer séparément t1, t2 et t3.

(c) L'objectif du chronométrage n'est pas de déterminer des temps de calcul précis, mais le différentiel entre ces temps.

Il nous intéresse peu de savoir que le groupe mette en moyenne *exactement* x secondes à traiter une multiplication et y secondes à résoudre, disons, une addition. En revanche, il nous intéresse de savoir si les *écarts* $x - y$ sont importants, pour mettre à jour des dissociations entre les 4 opérations.

CHAPITRE 2 :

PRESENTATION DES RESULTATS

I. DONNEES QUANTITATIVES BRUTES :

1) PRESENTATION DES SCORES DU GROUPE

Nous présentons en premier lieu les scores obtenus par le groupe aux 13 tâches de l'EC301. Le tableau 11 en offre un aperçu global.

Les 10 aphasiques obtiennent un score moyen de 172,2 points sur un total possible de 301 points. Le score le plus faible est de 97 points (sujet 3) , le plus fort de 279 points (sujet 2).

Nous présentons également pour chaque tâche **les scores individuels triés par ordre croissant (tableau 11 bis).** Leur distribution ne peut pas être directement comparée à celle obtenue par Anna Basso (tableau 9, page 50) ; nous ne disposons pas des seuils chiffrés qui séparent les 3 classes (cf note en bas de la page 49). A titre purement indicatif, nous faisons toutefois ressortir les scores les plus élevés du groupe (en vert, tableau 11 bis) .

Le score maximal n'est atteint par aucun participant dans 3 épreuves (transcodages, calcul écrit et estimation perceptive) ; pour les 10 autres tâches, ce score est obtenu par au moins 1 et au plus 4 des patients du groupe.

Un score nul est relevé dans 3 épreuves : calcul mental (1 patient), calcul écrit (2 patients) et comptage (3 patients). Dans l'épreuve des transcodages, il n'y a aucun score total nul, bien que les 7 sous-tâches soient échouées par au moins une personne du groupe.

Tâches de l'EC301	*Scores du groupe (points obtenus / maximum possible)*		
	Score moyen	*Plus petit score relevé*	*Plus grand score relevé*
1-Comptage			
A- oral	1.4/8	0/8	8/8
B- écrit en chiffres	1.4/2	0/2	2/2
C- écrit alphabétique	0.8/4	0/4	4/4
Subtotal	**3.6/14**	**0/14**	**14/14**
2-Dénombrement			
A- Dominos	5.4/6	3/6	6/6
B- Distribution non canonique segmentable	5.1/6	2/6	6/6
C- Distribution non canonique segmentable avec pointage	5/6	1/6	6/6
D- Distribution non segmentable avec pointage	3.8/6	0/6	6/6
E- Distribution linéaire avec pointage	4/6	1/6	6/6
Subtotal	**23.3/30**	**11/30**	**30/30**
3-Transcodages			
A- Répétition	4.6/12	0/12	12/12
B- Chiffres à alphabétique	3/12	0/12	12/12
C- Lecture de nombres en chiffres	3.8/12	0/12	12/12
D- Dictée, écriture alphabétique	3.7/12	0/12	10/12
E- Lecture code alphabétique	5.2/12	0/12	12/12
F- Dictée, écriture en chiffres	5.3/12	0/12	12/12
G- Alphabétique à chiffres	6.2/12	0/12	12/12
Subtotal	**31.8/84**	**9/84**	**82/84**
4-Signes arithmétiques			
A- Dénomination	2.2/8	0/8	8/8
B- Ecriture sous dictée	7.8/8	6/8	8/8
Subtotal	**10/16**	**8/16**	**16/16**
5-Comparaison			
A- Code chiffres	15.2/16	12/16	16/16
B- Code alphabétique	11.4/16	8/16	16/16
Subtotal	**26.6/32**	**20/32**	**32/32**
6-Calcul mental			
A- Oral	3.6/16	0/16	16/16
B- Ecrit en chiffres	7.4/16	0/16	16/16
Subtotal	**11/32**	**0/32**	**32/32**
7-Approximation			
Subtotal	**10.4/16**	**4/16**	**16/16**
8-Echelle analogique			
A- Présentation en chiffres	9.6/10	8/10	10/10
B- Présentation orale	7.2/10	0/10	10/10
Subtotal	**16.8/20**	**8/20**	**20/20**
9-Pose d'opérations			
Subtotal	**6.8/8**	**4/8**	**8/8**
10-Calcul écrit			
A- Addition	2.2/4	0/4	4/4
B- soustraction	1/ 4	0/ 4	4/ 4
C- multiplication	2.3/7	0/7	5/7
Subtotal	**5.5/15**	**0/15**	**13/15**
11-Estimation perceptive			
Subtotal	**8.2/12**	**6/12**	**10/12**
12-Jugement contextuel			
Subtotal	**8/10**	**4/10**	**10/10**
13-Connaissances num.			
Subtotal	**10.2/12**	**8/12**	**12/12**
T O T A L	***172.2/301***	***97/301***	***279/301***

Tableau 11 : Scores moyen, minimal et maximal du groupe (n=10) aux différentes tâches et sous-tâches de l'EC301.

	Scores du groupe-test (n=10) par ordre croissant									
Comptage	0	0	0	2	2	2	2	2	12	14
Dénombrement	11	12	20	24	24	26	26	30	30	30
Transcodages	9	14	15	15	18	20	41	49	56	82
Signes arithmétiques	8	8	8	8	8	10	10	10	14	16
Comparaison	20	22	24	24	26	26	28	32	32	32
Calcul mental	0	2	4	4	6	11	13	14	24	32
Approximation	4	4	6	8	8	12	14	16	16	16
Echelle analogique	8	12	16	16	18	18	20	20	20	20
Pose d'opérations	4	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Calcul écrit	0	0	2	2	4	6	8	10	10	13
Estimation perceptive	6	6	6	8	8	8	10	10	10	10
Jugement contextuel	4	6	8	8	8	8	8	10	10	10
Connaissances numériques	8	8	10	10	10	10	10	12	12	12

LEGENDE :	
	Score = 100%
	Score < 100%, mais l'échec porte sur un seul item

Tableau 11bis : Présentation des scores individuels par ordre croissant pour les 13 tâches principales. (en vert figurent les meilleurs scores)

2) DONNEES STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Pour avoir une idée plus précise de la distribution des scores au sein du groupe, nous effectuons post hoc une analyse statistique complète portant sur le corpus des résultats détaillés des 10 participants (*outil : MS Excel 1997*). Les résultats dans les 13 tâches principales du test sont synthétisés ci-dessous (tableau 12) ; les données statistiques exhaustives concernant l'ensemble des subtests sont présentées ci-après (tableau 13).

Tâches de l'EC301	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
Moyenne	*3,6*	*23,3*	*31,8*	*10*	*26,6*	*11*	*10,4*	*16,8*	*6,8*	*5,5*	*8,2*	*8*	*10,2*	*172,2*
Erreur-type	1,6	2,21	7,61	0,89	1,37	3,25	1,57	1,27	0,44	1,45	0,55	0,6	0,47	18
Médiane	2	25	19	9	26	8,5	10	18	7	5	8	8	10	167
Écart-type	*5,06*	*6,99*	*24,1*	*2,83*	*4,33*	*10,3*	*4,97*	*4,02*	*1,4*	*4,6*	*1,75*	*1,89*	*1,48*	*56,8*
Variance de l'échantillon	25,6	48,9	580	8	18,7	105	24,7	16,2	1,96	21,2	3,07	3,56	2,18	3228
Kurstosis (Coefficient d'aplatissement)	1,39	-0,2	0,42	1,23	-1,2	0,57	-1,9	1,46	-0,1	-1,3	-1,7	1,19	-0,7	-0,2
Coefficient d'asymétrie	1,67	-1	1,13	1,47	0,09	1,11	-0,1	-1,4	-0,8	0,28	-0,2	-1	-0,2	0,62
Plage	14	19	73	8	12	32	12	12	4	13	4	6	4	182
Minimum	0	11	9	8	20	0	4	8	4	0	6	4	8	97
Maximum	14	30	82	16	32	32	16	20	8	13	10	10	12	279
Somme	36	233	318	100	266	110	104	168	68	55	82	80	102	1722

Tableau 12 : Distribution globale des scores pour les 13 tâches principales. (moyennes et écarts-types respectifs figurent en gras).

Epreuves	Moyenne	Erreur-type	Médiane	Ecart-type	Variance	Kurstosis	C.A.	Plage	Mini	Maxi	Somme
1A	1,4	0,9452	0	2,9889	8,9333	2,1586	1,8876	8	0	8	14
1B	1,4	0,3055	2	0,9661	0,9333	-1,224	-1,035	2	0	2	14
1C	0,8	0,5333	0	1,6865	2,8444	1,4063	1,7788	4	0	4	8
subtotal 1	3,6	1,6	2	5,0596	25,6	1,3935	1,6697	14	0	14	36
2A	5,4	0,3399	6	1,075	1,1556	1,8639	-1,691	3	3	6	54
2B	5,1	0,4819	6	1,5239	2,3222	0,4306	-1,385	4	2	6	51
2C	5	0,5963	6	1,8856	3,5556	1,5996	-1,74	5	1	6	50
2D	3,8	0,6799	3,5	2,1499	4,6222	-1,029	-0,349	6	0	6	38
2E	4	0,5774	4	1,8257	3,3333	-1,157	-0,411	5	1	6	40
subtotal 2	23,3	2,2113	25	6,9929	48,9	-0,19	-0,974	19	11	30	233
3A	4,6	1,5506	3	4,9035	24,044	-1,821	0,415	12	0	12	46
3B	3	1,2019	2	3,8006	14,444	2,9518	1,6394	12	0	12	30
3C	3,8	1,5041	2	4,7563	22,622	-0,108	1,1388	12	0	12	38
3D	3,7	1,1552	3	3,653	13,344	-0,698	0,7105	10	0	10	37
3E	5,2	1,3337	5	4,2177	17,789	-1,211	0,116	12	0	12	52
3 F	5,3	1,126	5	3,5606	12,678	0,3348	0,6339	12	0	12	53
3G	6,2	1,0934	6	3,4577	11,956	0,1027	-0,029	12	0	12	62
subtotal 3	31,8	7,6135	19	24,076	579,66	0,4208	1,1319	73	9	82	318
4A	2,2	0,8667	2	2,7406	7,5111	1,2078	1,3991	8	0	8	22
4B	7,8	0,2	8	0,6325	0,4	10	-3,162	2	6	8	78
subtotal 4	10	0,8944	9	2,8284	8	1,2262	1,4731	8	8	16	100
5A	15,2	0,4422	16	1,3984	1,9556	2,0455	-1,658	4	12	16	152
5B	11,4	1,1175	11	3,534	12,489	-1,706	0,4169	8	8	16	114
subtotal 5	26,6	1,3679	26	4,3256	18,711	-1,228	0,0939	12	20	32	266
6A	3,6	1,8025	1	5,6999	32,489	1,7538	1,6962	16	0	16	36
6B	7,4	1,714	6	5,4201	29,378	-1,277	0,3123	16	0	16	74
subtotal 6	11	3,2455	8,5	10,263	105,33	0,5739	1,1077	32	0	32	110
subtotal 7	10,4	1,572	10	4,971	24,711	-1,865	-0,067	12	4	16	104
8A	9,6	0,2667	10	0,8433	0,7111	1,4063	-1,779	2	8	10	96
8B	7,2	1,0414	8	3,2931	10,844	1,3063	-1,247	10	0	10	72
subtotal 8	16,8	1,2719	18	4,0222	16,178	1,4583	-1,406	12	8	20	168
subtotal 9	6,8	0,4422	7	1,3984	1,9556	-0,146	-0,78	4	4	8	68
10A	2,2	0,6289	3	1,9889	3,9556	-2,3	-0,237	4	0	4	22
10B	1	0,4472	0	1,4142	2	0,5714	1,1785	4	0	4	10
10C	2,3	0,5972	2	1,8886	3,5667	-1,557	-0,045	5	0	5	23
subtotal 10	5,5	1,4549	5	4,6007	21,167	-1,339	0,2824	13	0	13	55
subtotal 11	8,2	0,5538	8	1,7512	3,0667	-1,734	-0,223	4	6	10	82
subtotal 12	8	0,5963	8	1,8856	3,5556	1,1853	-0,994	6	4	10	80
subtotal 13	10,2	0,4667	10	1,4757	2,1778	-0,734	-0,166	4	8	12	102
TOTAL	172,2	17,967	167	56,816	3228	-0,182	0,6186	182	97	279	1722

Tableau 13 : Analyse statistique détaillée des résultats du groupe (n=10 aphasiques moteurs) aux 13 tâches de l'EC301.
(C.A.= coefficient d'asymétrie)

Nous retenons simplement pour la suite que l'écart-type est relativement faible dans l'épreuve 5 de comparaison, ainsi que pour la pose d'opérations et les connaissances numériques. En revanche, les écarts par rapport à la moyenne sont importants pour le comptage, les transcodages, le calcul mental et écrit.

3)TAUX MOYENS DE REUSSITE (= scores relatifs moyens) [52]

Afin d'avoir une idée précise du type de tâches qui pose le plus de difficultés et, à l'inverse, de celles qui sont le mieux réussies, nous déterminons des taux moyens de réussite à partir du corpus des données recueillies. **Ces taux sont calculés en divisant pour chaque épreuve le score moyen du groupe sur le score maximum** qu'il est possible d'obtenir. Ils sont ensuite triés et présentés par ordre croissant. Le graphique 1 synthétise les résultats obtenus.
Les scores relatifs du groupe se distribuent dans une fourchette de 25 à 85% du score maximum (c'est à dire du score atteint par plus de 90% des sujets du groupe-contrôle lors de l'étalonnage du test).

En première analyse, il ressort de ces résultats 2 groupes de tâches :

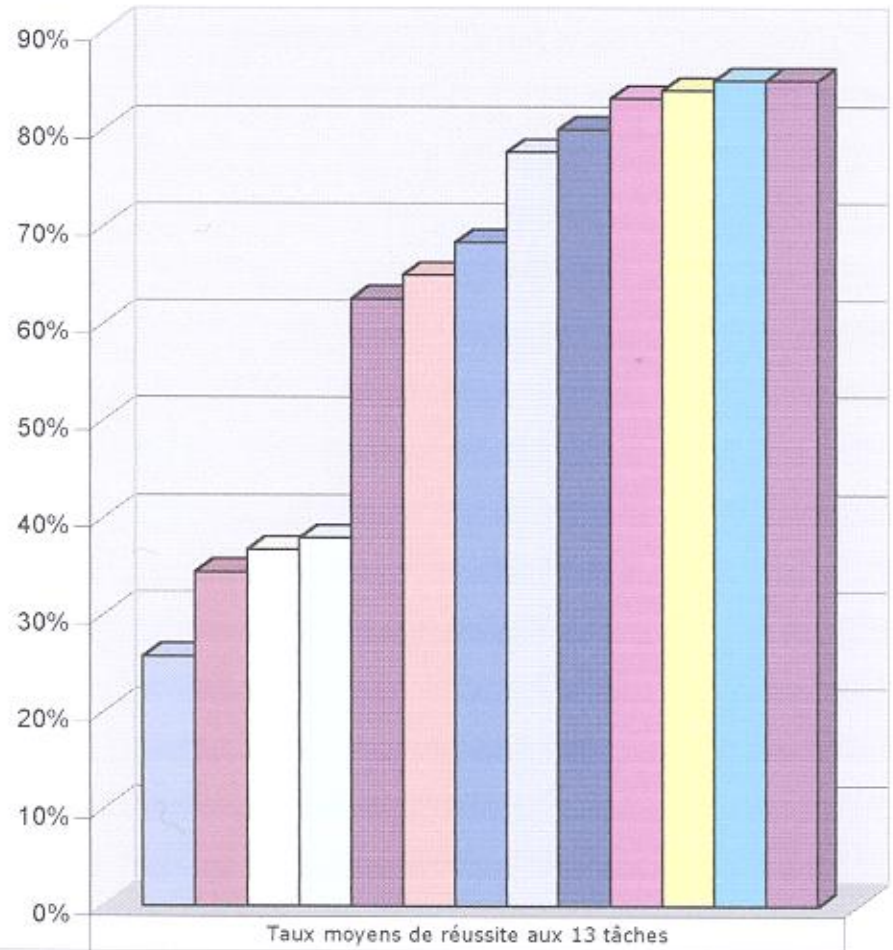
- **4 épreuves sont très altérées par rapport aux neuf autres : le groupe n'obtient qu'entre 25 et 40% du score atteint par le sujet normal.**
- **les 9 autres épreuves tranchent singulièrement avec le groupe précédent, puisque les participants atteignent en**

[52] Nous utilisons alternativement les deux termes. Le terme « taux de réussite » peut être ambigu : il ne s'agit pas ici d'un nombre d'individus (un pourcentage de personnes qui réussissent par rapport à d'autres qui échouent), mais d'un pourcentage du score maximum qui reflète la réussite moyenne du groupe (d'où l'autre terme, plus fastidieux mais moins ambigu : score relatif moyen).

moyenne plus de 60% du score plafond. Elles se décomposent plus précisément en 2 sous-groupes :

❶ ***Entre 60 et 70% du score maximum possible : 3 épreuves.***

❷ ***Entre 75 et 85% du score maximum possible : 6 épreuves.***



	Taux moyens de réussite aux 13 tâches
comptage	25,71%
calcul mental	34,37%
calcul écrit	36,67%
transcodages	37,86%
signes arithmétiques	62,50%
approximation	65%
estimation perceptive	68,33%
dénombrement	77,67%
jugement contextuel	80%
comparaison	83,12%
échelle analogique	84%
pose d'opérations	85%
connaissances numériques	85%

Graphique 1 : Présentation par ordre croissant des taux de réussite moyens du groupe(n=10) pour les 13 épreuves de l'EC301.

II. ANALYSE PAR GROUPE DE TACHES

1) GROUPE DE TACHES 1 : SCORE RELATIF MOYEN ENTRE 25 ET 40%

Le *comptage* est dans notre étude la tâche la plus déficitaire. En analysant les performances aux trois subtests, il apparaît que le *comptage écrit en chiffres est nettement mieux réussi* (1,4 points/2) que le comptage oral (1,4/8) et écrit alphabétique (0,8/4).

Dans le comptage de 1 en 1, les non réponses sont exceptionnelles : un seul sujet ne donne aucune réponse ni à l'oral, ni à l'écrit. De façon générale, quand l'item est coté 0, c'est parce que la consigne est partiellement respectée et que le sujet ne compte pas jusqu'à la limite supérieure prévue (« seize » en code écrit alphabétique, 31 dans les autres cas*).*

Cette loi du « tout ou rien » dans la cotation explique que les écarts-types sont particulièrement importants dans ces tâches.

> Par exemple, dans l'épreuve 1A, huit participants ont 0 point /8, et les deux autres récoltent respectivement 2 et 8 points. Pourtant, d'un point de vue qualitatif, les écarts entre les différentes productions sont loin d'être aussi tranchés. Nous y revenons en troisième partie.

Dans ce premier groupe de tâches, arrivent ensuite respectivement le calcul mental (avec des opérandes à 1 chiffre) et le calcul écrit (opérandes à plusieurs chiffres).

Dans le calcul mental oral (épreuve 6A), il existe deux cas de figure : soit aucune réponse n'est possible et l'item est coté 0 point, soit une réponse est possible, mais à l'écrit, auquel cas l'examinateur attribue 1 point au lieu de 2. Dans l'épreuve 6B, toutes les réponses peuvent être fournies dans le code écrit et il n'y a jamais besoin de recourir à une cotation intermédiaire pour le groupe-test. L'écart important entre les

scores récoltés à l'oral (3,6 points/16) et à l'écrit (7,4/16) ne peut donc pas être attribué à des différences dans les compétences de calcul elles-mêmes.

Dans le calcul écrit complexe, *les scores moyens sont meilleurs pour l'addition (2,2 points /4) que pour la multiplication (2,3/7) et la soustraction (1/4)*. Cependant, une fois encore, ces résultats sont à nuancer car le système de cotation n'est pas le même pour toutes les opérations. En effet, dans les additions et les soustractions, l'examinateur observe simplement si les résultats sont corrects ou non et attribue les points en conséquence. En revanche, dans les multiplications sont en plus cotés les résultats intermédiaires, ainsi que le décalage entre ceux-ci. De la sorte, le simple respect des procédures du calcul écrit permet au sujet de récolter 2 points/7. Ainsi, en considérant uniquement l'exactitude des résultats fournis et en comparant à nouveau les items, il apparaît que la multiplication est l'opération la plus déficitaire. C'est en outre la seule opération qui n'a été réussie par aucun des participants.

Les transcodages figurent parmi les taux d'échecs les plus importants. *Toutefois, le score relatif (3,8/10) n'est pas, contrairement aux attentes, le plus faible de toutes les épreuves* . Aucun sujet n'obtient 0 sur la totalité de l'épreuve ; en revanche, des scores nuls sont relevés pour chacun des subtests.

Plus précisément, 60% des sujets échouent complètement à au moins 1 des 7 subtests ; ils se répartissent de la façon suivante :

- *O point dans 1 seul subtest : 1 personne ;*
- *0 point dans 2 subtests : 1 personne ;*
- *0 point dans 3 subtests : 1 personne ;*
- *0 point dans 4 subtests : 2 personne ;*
- *0 point dans 5 subtests : 1 personne.*

Nous revenons par la suite sur cette épreuve en envisageant le nombre et la nature des erreurs et en comparant les résultats obtenus pour les 7 transcodages.

2) GROUPE DE TACHES 2 : SCORE RELATIF MOYEN ENTRE 60 ET 70%

Dans ce groupe intermédiaire, les résultats moyens sont environ *1,5 à 2,5 fois supérieurs* à ceux obtenus dans les tâches précédentes.

Par ordre croissant de réussite, on retrouve d'abord l'épreuve des ***signes arithmétiques***. Dans cette tâche, l'influence des troubles d'expression orale est sensible : il existe un fossé très important entre la dénomination (2,2 points sur 8) et la production graphique (7,8 sur 8).

Arrive ensuite, avec un score moyen de 6,5/10, ***l'approximation du résultat d'opérations*** complexes (opérandes à trois chiffres). D'un point de vue qualitatif, l'analyse item par item n'indique pas d'influence évidente de la nature de l'opération sur le taux de réussite.

Enfin, dans ***l'estimation perceptive de quantités***, signalons que les difficultés constatées se concentrent surtout dans l'estimation des hauteurs. Au total, aucun sujet n'atteint le score maximum de 12 points dans cette épreuve. En revanche, l'estimation rapide de la numérosité d'objets présentés en tas (photos représentant un amas de flacons) est presque systématiquement réussie (1 seul échec) .

3)GROUPE DE TACHES 3 : SCORE RELATIF MOYEN ENTRE 75 ET 85%

On y retrouve dans l'ordre : dénombrement (77,67%), jugement contextuel de numérosités (80%), comparaison de nombres (83,12%), échelle analogique (84%) et en tête(85%), la disposition spatiale d'opérations et les connaissances numériques précises. ***Pour toutes ces tâches et de façon systématique, au moins 3 sujets du groupe obtiennent le maximum des points.***

Le subtest qui consiste à **placer des nombres arabes sur une *échelle analogique* de 1 à 100 (épreuve 8A) est sans conteste l'épreuve la mieux réussie par tous** : 8 participants atteignent le score maximum, les 2 autres obtenant un score de 8 points sur 10. Les performances diminuent sensiblement quand le code d'entrée est verbal.

Un effet comparable intervient dans la ***comparaison de nombres*, la présentation digitale étant nettement favorisée** (95% du score maximum) par rapport à la présentation écrite de mots nombres (71,25%).

Le dénombrement de collections de points est lui mieux réussi pour la présentation type domino (petites numérosités de 1 à 6) que pour la présentation avec pointage, surtout quand il s'agit d'une distribution non segmentable (subtest 2D). D'un point de vue qualitatif, il n'est jamais relevé de non réponses[53].

Les savoirs encyclopédiques et les connaissances sémantiques générales, mobilisés dans l'épreuve des ***connaissances numériques précises,*** peuvent favoriser la production de petites numérosités

[53] Dans cette épreuve, les résultats doivent être fournis en code chiffres.

exactes[54]. Un effet comparable peut sans doute être décrit pour la compréhension de magnitudes dans l'épreuve de ***jugement contextuel.***

Savoir ***poser une opération*** fait également partie des connaissances sémantiques générales ; en accord avec Anna Basso (2000), nous pensons que cette tâche a une forte composante visuo-spatiale et il y a lieu de se demander pourquoi elle n'est pas encore mieux réussie par le groupe. Nous ne disposons à ce propos d'aucune hypothèse explicative.

Au terme de cette revue globale des résultats , il apparaît que les résultats aux 13 épreuves sont tous inférieurs à la normale, mais dans des proportions très variables. Entre un groupe de 4 épreuves et les 9 autres, les résultats varient du simple au double, voire au triple. Ce groupe très altéré comprend deux tâches de traitement des nombres (transcodages et comptage) et deux tâches de calcul (mental et écrit). Voici les résultats qui concernent plus précisément les transcodages et le calcul mental simple.

[54] La littérature mentionne un tel effet. Par exemple, une étude de cas unique décrit chez un alexique profond la dissociation entre nombres arabes familiers (1789, 1664, 205, etc.) et non familiers de complexité égale [COHEN,L. & al., « Number words and number non words : A case of deep dyslexia extending to Arabic numerals», *Brain*, **117**, 267-279 (1994)].

CHAPITRE 3 :

TRANSCODAGES ET CALCUL EXACT SIMPLE

I. LES 7 TRANSCODAGES

1) DECOMPTE DES ERREURS

L'épreuve 3 se décompose en 7 subtests. Ils comportent chacun 6 nombres de complexité comparable (les quantités représentées varient entre 10^2 et 10^5) qui doivent être transposés dans un code et/ou une modalité déterminés.

Pour 6 transcodages, l'input et l'output sont produits :

- dans des notations différentes : 3B et 3G (*transcodages inter-notations*) ;
- dans des modalités différentes : 3D et 3E (*transcodages intermodaux) ;*
- dans des codes et des modalités différents : 3C et 3F (*transcodages mixtes) .*

La répétition (subtest 3A) est classée dans la catégorie des transcodages, mais ni la modalité, ni le code ne varient entre l'entrée et la sortie. Du point de vue terminologique, il est plus exact de parler de *transposition audio-phonatoire*, de la même façon que la copie (qui n'est pas testée ici) est une transposition visuo-graphique.

Parmi ces sept subtests, les transcodages inter-notations nous intéressent au premier chef.

Pour chaque item, le système de cotation envisage 3 possibilités :

- une bonne réponse est fournie directement *: 2 points* ;
- une bonne réponse est fournie après répétition (input oral uniquement) : *1 point* ;
- aucune réponse n'est fournie, ou la réponse est incorrecte : *0 point.*

Ces précisions étant apportées, voici les scores détaillés obtenus par chaque participant et le décompte des erreurs pour les différents subtests (tableau 14).

Patient n° :	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***Nombre d'erreurs relevé :***
3A- Répétition *(/12 points)*	0	12	0	0	0	8	4	2	10	10	**34**
3B- Chiffres à alphabétique *(/12 points)*	0	12	0	2	2	4	0	0	4	6	**45**
3C- Lecture de nombres en chiffres *(/12 points)*	0	12	0	2	0	6	0	2	4	12	**41**
3D- Dictée, écriture alphabétique *(/12 points)*	0	10	0	2	2	9	0	4	6	4	**37**
3E- Lecture code alphabétique *(/12 points)*	0	12	4	4	0	8	0	6	8	10	**37**
3F- Dictée, écriture en chiffres *(/12 points)*	5	12	6	4	1	6	5	2	3	10	**26**
3G- Alphabétique à chiffres *(/12 points)*	10	12	8	0	4	8	6	4	6	4	**27**
Subtotal (/84points)	***15***	***82***	***18***	***14***	***9***	***49***	***15***	***20***	***41***	***56***	***247***

Tableau 14 : Détail des scores et du nombre d'erreurs des 10 participants pour les 7 subtests de l'épreuve 3.

Du point de vue quantitatif, le groupe commet au total **247 erreurs**.
Le nombre d'erreurs par subtest varie de **26 pour l'épreuve 3F** à **45 pour l'épreuve 3B.**

2) ANALYSE QUALITATIVE DES ERREURS

Du point de vue qualitatif, il y a **47 non réponses et 200 réponses incorrectes**.
Les non réponses se concentrent dans l'épreuve 3A (16) et 3C (15) ; il n'y en a aucune dans l'épreuve 3G.
Pour les réponses incorrectes, il est procédé à une analyse du type d'erreurs pour les transcodages 3G et 3B (i.e., les transpositions « inter-codes ») sur la base de la classification systématique proposée par Deloche.

A. ANALYSE DES ERREURS RELEVEES DANS LE SUBTEST 3G (TABLEAU 15)

D'après la classification proposée par Deloche, le groupe-test commet **55,6% d'erreurs syntaxiques**, ce qui représente **plus du double des erreurs lexicales**.
On relève une seule erreure lexicale de position (cent quatorze→ 115).
Les 2 erreurs de classe sont commises par le même sujet (mille quatre cent cinquante→1405, cent quatorze→104)

La majorité des erreurs syntaxiques concernent les opérateurs mille et cent, uniquement quand ils reflètent des rapports multiplicatifs.

Type d'erreurs	Nombre d'erreurs du groupe (n=10)	% d'erreurs
1) Lexicales		
a-Identification		
Paralexies visuelles	-	-
Paralexies phonémiques	-	-
Erreurs de classe	2	7.4
Erreurs de position	1	3.7
→ **Sous-total**	**3**	**11.1**
b- Ordre		
Elément lexical déplacé	2	7.4
Traitement partiel	2	7.4
Persévération	-	-
→ **Sous-total**	**4**	**14.8**
Sous-total « erreurs lexicales » :	7	25.9
2)Transcodage		
Lexicalisation	4	14.8
« mille » et « cent »		
→**multiplicandes**	9	33.3
→**non multiplicandes**	-	
Dizaines composées	2	7.4
→ **Sous-total**	**15**	**55.6**
Sous-total « erreurs syntaxiques » :	15	55.6
3)Mixte	**3**	**11.1**
4)Divers	**2**	**7.4**
TOTAL	[illegible]	[illegible]

Tableau 15 : Nombre et pourcentage d'erreurs du groupe-test au subtest 3G.

A titre illustratif, nous fournissons ci-après (photo 1) la production du sujet 10, qui reflète la tendance générale des erreurs du groupe.

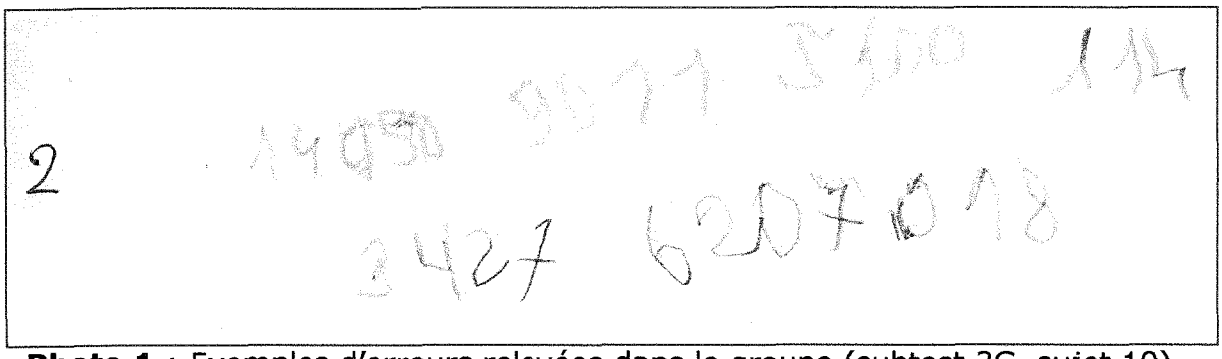


Photo 1 : Exemples d'erreurs relevées dans le groupe (subtest 3G, sujet 10).
(le « 2 » à gauche est écrit par l'examinateur pour illustrer la consigne)

Les items erronés sont successivement :

***« mille quatre cent cinquante » → 14050**
(ERREUR SYNTAXIQUE, mauvais transcodage de l'opérateur « cent »)

***« cinq cent mille » → 5100**
(ERREUR LEXICALE, élément lexical déplacé : cinq mille cent)

***« trois cent quatre vingt sept » → 3427**

(ERREUR SYNTAXIQUE, lexicalisation)
***« soixante deux mille sept cent dix huit » → 6207018**
(DOUBLE ERREUR SYNTAXIQUE, mauvais transcodage des opérateurs « mille » et « cent »

B. ANALYSE DES ERREURS RELEVEES DANS LE SUBTEST 3B (TABLEAU 16):

Il ressort à nouveau des résultats une **prédominance d'erreurs syntaxiques (51,1% du nombre d'erreurs** relevées dans le subtest). *Les traitements interrompus de la séquence (31.1%) sont à eux-seuls plus nombreux que l'ensemble des erreurs lexicales (24.4%).*

On relève une seule transcription aberrante (patient 2 : *9011 → « cinqu »),* toutes les autres erreurs peuvent être classées dans les

catégories syntaxique, lexicale ou mixte de la grille. La photo 2 illustre certaines des erreurs rencontrées.

Type d'erreurs	***Nombre d'erreurs du groupe (n=10)***	***% d'erreurs***
1) Identification		
Paragraphies littérales	3	6.7
Paragraphies morphémiques	-	-
Erreurs de classe	2	4.4
Erreurs de position	-	-
Erreurs de découpage	2	4.4
→ **Sous-total**	**7**	**15.5**
2) Ordre		
Chiffre déplacé	-	-
Omission	4	8.9
Ajout	-	-
→ **Sous-total**	**4**	**8.9**
Sous-total « erreurs lexicales »	**11**	**24.4**
3)Transcodage		
Traitement interrompu	14	31.1
Transcription de « 0 » Par « zéro »	2	4.4
Transcription littérale	6	13.3
→ **Sous-total**	22	**51.1**
Sous-total « erreurs syntaxiques »	**22**	**51.1**
4)Mixte	**11**	**24.4**
5)Divers	**1**	**2.2**
TOTAL	**45**	**100**

Tableau 16: Nombre et pourcentage d'erreurs du groupe-test au subtest 3B.

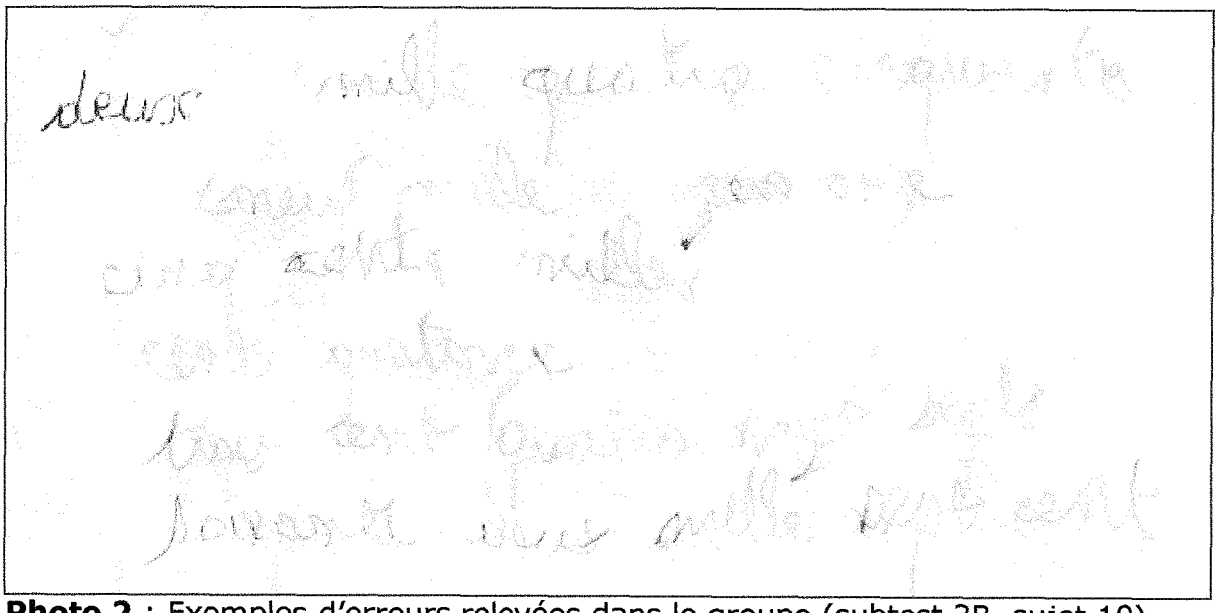


Photo 2 : Exemples d'erreurs relevées dans le groupe (subtest 3B, sujet 10).
(le « deux » à gauche est écrit par l'examinateur pour illustrer la consigne)

Les items erronés sont successivement :

***1450 → « mille quatre ∅ cinquante »**
(ERREUR LEXICALE[55] : omission de « cent »)

*** 9011 → « neuf mille zéro onze »**
(ERREUR SYNTAXIQUE : transcription de « 0 » par « zéro »)

*** 62718 → « soixante deux mille sept cent ∅ »**
(ERREUR SYNTAXIQUE : traitement interrompu de la séquence numérique)

II. RESULTATS DU CALCUL EXACT SIMPLE

Voici maintenant les résultats qui intéressent l'épreuve 6 de l'EC301. Le détail des opérations, ainsi que les consignes de passation des subtests 6A et 6B figurent ANNEXES 7 et 8 de ce mémoire.

[55] Il y a lieu d'hésiter avec une erreur syntaxique du type « interruption du traitement de la chaîne ». Toutefois, le « cent » manquant figure dans la subvocalisation spontanée de la patiente : les stratégies de transcodage sont donc appliquées à toute la chaîne, et il s'agit dans ce cas d'une simple omission lexicale lors de la transcription. Signalons que la distinction entre ces deux types particuliers d'erreurs n'est pas toujours aussi aisée : s'il y a ambiguïté, nous choisissons de les classer dans les erreurs mixtes.

1) PERFORMANCES DU GROUPE DANS LES DEUX SUBTESTS

La grille de scores de l'EC301 ne permet pas de rendre compte des résultats obtenus pour chaque type d'opération du calcul mental (épreuve 6). Elle permet uniquement d'observer les écarts entre les scores manifestés en modalité orale et à l'écrit (tableau 17).

Epreuve 6	*Score relevé pour le patient n° :*										*Score moyen du groupe*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	
calcul mental oral (/16 points)	0	16	0	0	3	3	0	0	2	12	3,6
calcul mental écrit (/16 points)	14	16	2	0	10	8	4	4	4	12	7,4
Total calcul mental (/32 points)	14	32	2	0	13	11	4	4	6	24	11

Tableau 17 : Détail des scores obtenus à l'épreuve 6.

Au travers de ces résultats, il apparaît que le score est, en moyenne, environ 2 fois moins élevé à l'oral qu'à l'écrit.
De plus, aucun sujet du groupe-test n'obtient un score plus élevé à l'oral qu'à l'écrit, ce qui est cohérent avec :
- le tableau des troubles d'expression orale que présentent ces patients ;
- le système de cotation intermédiaire dont nous avons parlé à la page 61.

Au mieux, les scores sont égaux dans les deux subtests. Le plus grand écart de points est relevé pour le patient 1 : il ne recueille aucun point à l'oral et presque le maximum (14 points/16) à l'écrit.

1) PERFORMANCES DU GROUPE DANS LES DEUX SUBTESTS

La grille de scores de l'EC301 ne permet pas de rendre compte des résultats obtenus pour chaque type d'opération du calcul mental (épreuve 6). Elle permet uniquement d'observer les écarts entre les scores manifestés en modalité orale et à l'écrit (tableau 17).

Epreuve 6	*Score relevé pour le patient n° :*										*Score moyen du groupe*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	
calcul mental oral (/16 points)	0	16	0	0	3	3	0	0	2	12	3,6
calcul mental écrit (/16 points)	14	16	2	0	10	8	4	4	4	12	7,4
Total calcul mental (/32 points)	14	32	2	0	13	11	4	4	6	24	11

Tableau 17 : Détail des scores obtenus à l'épreuve 6.

Au travers de ces résultats, il apparaît que le score est, en moyenne, environ 2 fois moins élevé à l'oral qu'à l'écrit.
De plus, aucun sujet du groupe-test n'obtient un score plus élevé à l'oral qu'à l'écrit, ce qui est cohérent avec :
- le tableau des troubles d'expression orale que présentent ces patients ;
- le système de cotation intermédiaire dont nous avons parlé à la page 74.

Au mieux, les scores sont égaux dans les deux subtests. Le plus grand écart de points est relevé pour le patient 1 : il ne recueille aucun point à l'oral et presque le maximum (14 points/16) à l'écrit.

Dans ce cas particulier, les différences ne peuvent pas tenir uniquement au système de cotation. Indiquons que, dans le subtest 6A, seules 3 réponses sur 8 sont tentées par écrit mais que, pour les 5 autres items, ce patient notifie presque immédiatement son abandon. En l'espèce, l'échec tient en grande partie au manque de coopérativité.

Le sujet n°2 atteint le score maximum dans ces 2 subtests comme sur la globalité des 13 épreuves ; de façon parallèle, le sujet qui obtient un score vierge dans cette tâche est celui qui a le score général le plus faible (i.e., 97 points/301).

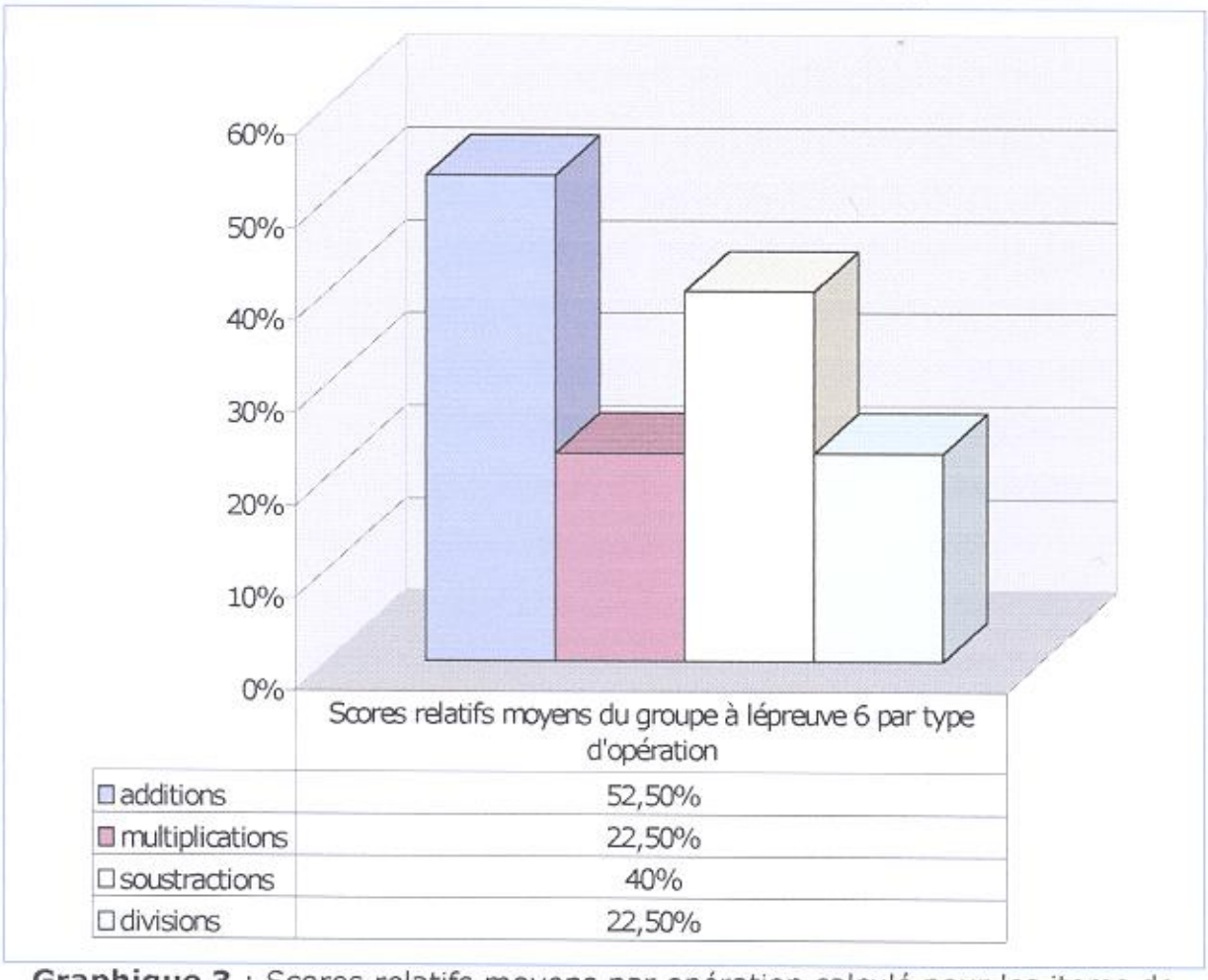
2) PERFORMANCES DU GROUPE DANS LES QUATRE OPERATIONS

Pour avoir un aperçu des performances du groupe pour chaque opération, nous effectuons ensuite une analyse item par item. Les résultats sont présentés au tableau 18.

Il en ressort que **les scores moyens en addition sont les plus élevés** (voir aussi graphique 3, pour les scores moyens relatifs). Ils représentent en particulier plus du double de ceux enregistrés pour la multiplication et l'addition.
En outre, 90% des sujets fournissent au moins une bonne réponse en addition. A chaque fois que des bonnes réponses ne sont fournies que dans un seul type d'opération (patients n° 3, 8 et 9), il s'agit toujours de l'addition.
Arrivent ensuite les soustractions (6 sujets sur 10), les multiplications (5 sujets) et les divisions (4 sujets).

Items des subtests 6A et 6B	*Score relevé pour le patient n° :*										*Score moyen du groupe*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	
Additions (/8 points)	4	8	2	0	6	2	2	4	6	8	4.2
Multiplications (/8 points)	4	8	0	0	2	2	0	0	0	2	1.8
Soustractions (/8 points)	4	8	0	0	5	5	2	0	0	8	3.2
Divisions (/8 points)	2	8	0	0	0	2	0	0	0	6	1.8

Tableau 18: Détail des points obtenus par le groupe-test pour les 4 opérations de l'épreuve 6 (16 items, subtests 6A et 6B).



Graphique 3 : Scores relatifs moyens par opération calculé pour les items de l'épreuve 6.

Comme les scores relevés ne reflètent pas exactement le nombre de bonnes réponses fournies, toujours à cause de la cotation intermédiaire, nous comptabilisons le nombre effectif de réponses correctes fournies dans chaque opération par chaque patient (tableau 19).

Items de l'épreuve 6	***Nombre de bonnes réponses fournies par le patient n° :***										***Total « bonnes réponses du groupe »***
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	
Additions	2	4	1	-	3	1	1	3	3	4	22
Multiplications	2	4	-	-	2	2	-	-	-	2	12
Soustractions	2	4	-	-	3	4	1	-	-	4	18
Divisions	1	4	-	-	-	2	-	-	-	1	8

Tableau 19: Nombre d'items corrects relevé dans l'épreuve 6.

Toutes opérations confondues, le groupe a fourni **60 réponses correctes sur les 160 attendues,** ce qui représente un **taux de réussite moyen de 37,5%**.

Ces données indiquent aussi que le nombre de réponses correctes est plus faible pour la division (8) que pour la multiplication (12), bien que les scores moyens soient similaires pour les deux opérations (1,8 points sur 8).

3) RESULTATS DU CHRONOMETRAGE

Comme nous l'expliquons page 61 et suivantes, il est procédé à la mesure des temps de réponses pour l'épreuve 6. Tous les items sont

chronométrés, mais seules les données temporelles concernant les bonnes réponses, qu'elles soient orales ou écrites, sont finalement exploitées.

Dans les cas où la modalité de réponse orale est soit impossible, soit spontanément écartée par le sujet (subtest 6A), le chronométrage du premier item est perturbé. Pour anticiper cette situation, il est procédé à un *pré-test* avec un autre item , mais la même consigne (« dites-moi combien font : 2+2 »). La modalité de réponse, orale ou écrite, est fixée après négociation avec le patient, et le chronométrage du premier temps de réponse se déroule dans des conditions plus confortables.

Le chronomètre utilisé a une précision de l'ordre du centième de secondes ; les temps relevés sont toutefois arrondis à la seconde la plus proche en raison des incertitudes liées au déclenchement et à l'arrêt du chronomètre par l'examinateur.
Rappelons que l'objectif est moins de déterminer avec précision des temps de réponses que de mettre à jour des écarts significatifs entre ceux-ci ; s'ils existent, ils ne doivent pas se mesurer en-deçà de l'échelle de la seconde.
Le tableau 20 rassemble les données obtenues.

Items de l'épreuve 6	***Temps (en s) relevés pour les bonnes réponses du patient n° :***										***Temps total (en s)***
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	
Additions	23	16	10	-	12	21	9	12	20	8	***131***
Multiplications	36	65	-	-	20	37	-	-	-	58	***216***
Soustractions	28	23	-	-	15	8	12	8	9	24	***127***
Divisions	20	45	-	-	-	8	-	-	-	24	***107***

Tableau 20: Temps de réponses chronométrés pour les 60 items corrects de l'épreuve 6 (6A et 6B confondus).

Au total, les participants ont mis **581 secondes** pour fournir 60 résultats corrects, soit un temps de réponse moyen d' **environ 10 secondes par opérations** (9,68 secondes exactement).

Les temps cumulés du groupe se décomposent de la façon suivante :

- **22,5% pour les additions ;**
- **37,2% pour les multiplications ;**
- **21,9% pour les soustractions ;**
- **18,4% pour les divisions.**

Troisième partie :

DISCUSSION

&

INTERPRETATION

CHAPITRE 1 :

LE TRAITEMENT DES NUMERAUX

I. TROUBLES DU TRANSCODAGE

1. CONFIRMATION DU PROFIL SYNTAXIQUE DES ERREURS

Conformément aux données de la littérature évoquées en première partie de ce mémoire, **la manipulation de la forme symbolique des nombres constitue une des difficultés majeures pour le groupe testé.** Du point de vue quantitatif, le score moyen est en moyenne minoré des 2/3 par rapport à la normale ; il arrive en 10ème position sur l'ensemble des 13 tâches.

Il s'agit de la seule épreuve pour laquelle existe un si grand écart entre les performances d'un sujet par rapport aux neuf autres (cf tableau 11 bis, page 69).

Entre le score le plus haut (sujet n°2, 82 points sur 84) et le deuxième (sujet n°10, 56 points), *il y a une différence de 26 points, c'est à dire l'équivalent de deux subtests*. En dehors du sujet n°2 (un seul item échoué), il apparaît que le nombre d'erreurs par patient est relativement comparable, même si ces erreurs se distribuent dans des subtests différents.

L'analyse qualitative des transcodages entre systèmes verbal et arabe permet de retrouver **la prépondérance d'erreurs syntaxiques dans les différentes productions**. En effectuant la moyenne des résultats obtenus pour les subtests 3B et 3G, le groupe commet environ **53% d'erreurs** liées à cette étape de traitement. Ces chiffres semblent présenter une grande constance quand on les compare aux autres données de la littérature.

> Dans l'étude initiale de Deloche (1982), le groupe « Broca » commet 68 erreurs syntaxiques sur 144 au total, soit 47% ; pour Delazer (1999), la proportion est de 50% sur l'ensemble des items testés.

Signalons que pour le transcodage type « 1 → un » (subtest 3B), nous sommes conscients de la part de subjectivité des résultats, puisque certaines erreurs ambiguës sont, dans le doute, classées dans la catégorie mixte. Ceci peut expliquer que la proportion d'erreurs mixtes double du subtest 3G au subtest 3B.

De fait, **la distinction entre simple omission lexicale et erreur de stratégie est difficile à établir sur la base des seules productions écrites silencieuses**. En pratique, nous sommes parfois contraints d'interpréter la source de ces erreurs en les croisant, le cas échéant, avec les productions orales qui accompagnent spontanément la transcription, et avec les résultats observés en lecture.

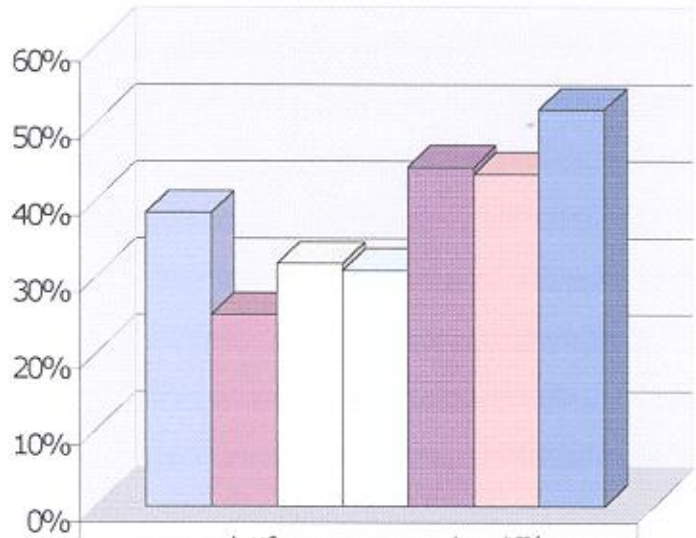
De plus, tous les cas litigieux concernent l'omission des primitives « mille » ou « cent » dans les items testés. Or, la valeur « lexicale » des erreurs sur les opérateurs est, selon nous, au moins discutable quand ils rendent compte de relations additives ou multiplicatives au sein d'un mot nombre. Dans ces cas, ils ont bien sûr une *essence* lexicale, mais leur *fonction* est syntaxique *: ils servent moins à identifier un élément que la position de cet élément dans le cadre syntaxique arabe*.

Au total, nous pensons avoir plutôt minoré que majoré le nombre d'erreurs syntaxiques, et confirmé leur nette

prédominance chez l'aphasique moteur dans les tâches de transcodage entre notations arabe et verbale.

2. CONFIRMATION DE L'EFFET DE FORMAT

Dans nos résultats, le nombre d'erreurs est beaucoup plus important quand l'input est digital et la sortie verbale que l'inverse (graphique 4).



	scores relatifs moyens pour les différents transcodages
répétition	38,33%
code arabe à alphabétique	25%
lecture code arabe	31,67%
dictée, écriture code alphabétique	30,80%
lecture code alphabétique	44,17%
dictée, écriture code arabe	43,30%
code alphabétique à arabe	51,67%

Graphique 4 : Comparaisons des scores relatifs du groupe-test dans les sous-tâches de l'épreuve 3.

Ainsi, la moyenne entre les scores 3B et 3C [*28,3% ; entrée digitale, sortie verbale*] **est inférieure d'environ 20%** à celle des subtests 3F et 3G [*47,5% ; entrée verbale, sortie digitale*].
L'influence du format se fait encore plus clairement sentir dans les tâches d'écriture, puisque les scores des subtests 3G et 3D varient du simple au double (25% dans le subtest 3B vs 51,67% au 3G).

Cependant, l'augmentation du *nombre* d'erreurs total ne s'accompagne pas d'une augmentation de **la *proportion* d'erreurs syntaxiques,** et nous avons vu qu'elle reste **assez stable, de l'ordre de 50%**, entre ces épreuves.
Nos résultats confirment en revanche l'existence de l'effet du format sur la proportion d'aphasiques qui commettent des erreurs syntaxiques dans les tâches de lecture.
En lecture de mots nombres, 5 des 10 participants commettent des erreurs syntaxiques ; la proportion atteint 80% en lecture du code arabe. Ces chiffres rendent compte d'un **effet de format de l'ordre de 30%.** Rappelons que dans l'étude initiale (Delazer,1999), les auteurs rapportent un effet comparable, chiffré à 25% (la proportion d'aphasiques passe de 25 à 50%).

En résumé, les erreurs syntaxiques se distribuent dans tous les transcodages, mais elles ont un caractère plus systématique pour tous quand il s'agit de lire des nombres en chiffres.

3)EFFET DE LONGUEUR PHONOLOGIQUE ?

Une analyse item par item suggère que l'influence de la taille des nombres impliqués sur les performances est moins sensible que leur nombre de syllabes.
Tous les subtests de transcodage sont conçus de façon identique (cf ANNEXE 9 pour un exemple) et enchaînent dans le même ordre 6 nombres de complexité comparable *qu'il est possible de regrouper selon*

leur longueur phonologique : 2 à 3 syllabes (items n°2,3 et 4), 4 à 5 syllabes (item 1), 6 syllabes (item 5) et 7 à 8 syllabes (item 6).

Cette organisation structurée permet d'observer la **répartition des erreurs en fonction de la longueur des items** pour les transcodages avec entrée ou sortie phonologique. Les résultats sont présentés au tableau 21.

	Nombre de réponses incorrectes pour les items de :		***Total erreurs***
	2 à 3 syllabes	***4 à 8 syllabes***	
3A- Répétition	7	27	**34**
3C- Lecture de nombres en chiffres	16	25	**41**
3D- Dictée, écriture alphabétique	10	27	**37**
3E- Lecture code alphabétique	12	25	**37**
3F- Dictée, écriture en chiffres	10	16	**26**
Total erreurs	***55***	***120***	***175***

Tableau 21 : Répartition des erreurs de transcodage en fonction du nombre de syllabes des items.

La longueur syllabique des structures semble bien en rapport avec la survenue des difficultés. Sur les 175 erreurs relevées dans les 5 transcodages concernés, **31% sont commises sur les 3 items les plus courts** (2 à 3 syllabes) contre **69% pour les 3 items de 4 à 8 syllabes.**

Signalons que la longueur phonologique n'est pas en rapport avec la taille des numérosités représentées.
Par exemple, les 3 mots nombres les plus courts correspondent à des numéraux arabes à 3, 4 et 6 chiffres ; les items de 4 à 8 syllabes représentent des nombres comparables de 3, 4 et 5 chiffres.
Il semble donc que l'effet de taille dans ce type de transcodage soit secondaire, et que les erreurs soient corrélées avec la longueur des items concernés.

La **répétition** est le transcodage le plus sensible à cet effet : près de 80% des erreurs portent sur les items de 4 à 8 syllabes.
A l'inverse, les proportions d'erreurs sont plus équilibrées en **lecture de nombres arabes**. L' item à deux syllabes (i.e., 113) est celui qui pose le moins de problèmes.

Ces données, croisées avec les autres résultats (erreurs syntaxiques et effet de taille) issus de la littérature, semblent globalement confirmer que **la part des traitements verbaux est prépondérante dans le transcodage des numéraux**. Il semble toutefois que les difficultés de langage ont des conséquences variables sur les autres tâches numériques. Ainsi, si le comptage est très déficitaire, les résultats obtenus en comparaison suggèrent que beaucoup des patients testés ont un accès relativement préservé à la signification des numéraux qu'ils n'arrivent pas à produire.

II. ASPECTS ALTERES ET PRESERVES DU NOMBRE

1) COMPTAGE

Nos résultats indiquent un déficit marqué des conduites de comptage . Si l'on s'en tient uniquement au score, il semble

même que ce soit l'activité numérique la plus touchée : le groupe recueille à peine 25% des points sur l'ensemble de l'épreuve.

Cependant, les écarts interinterindividuels sont flagrants : 80% des sujets ont un score inférieur ou égal à 2 points sur 16 (3 aphasiques ont 0, 5 ont seulement 2 points), et 20% atteignent ou approchent le score maximum (respectivement 16 et 14 points).
Il est clair que le système de cotation (loi du « tout ou rien », page 75) accentue beaucoup les écarts entre les participants, puisqu'il favorise seulement ceux qui respectent *totalement* la consigne. Aussi, parmi les scores les plus faibles, il ne permet pas de différencier les non réponses des réponses partielles, ni les écarts qualitatifs parfois importants entre ces réponses partielles.
Au total, il faut donc se garder d'une interprétation trop hative et généraliser le fait que 80% d'aphasiques « ne savent pas compter ». **Les écarts entre les différentes performances sont loin d'être aussi univoques.**
Ainsi, en comparant les productions de deux sujets qui obtiennent le même score (0 point sur l'ensemble de l'épreuve), il apparaît que :

- *Pour le premier*, le comptage oral de 1 en 1 n'est possible que jusqu'à 9 , avec beaucoup d'autocorrections et de retours en arrière; celui de 3 en 3 ou de 10 en 10 est rigoureusement impossible. A l'écrit, le sujet produit : « 1,2,3,4,5,5,6,7,9 » puis abandonne. En code alphabétique, il fournit seulement : « deus », « trois » « sit ».

- *Pour le deuxième*, le comptage est très perturbé à l'oral et le sujet pointe régulièrement sa bouche pour signifier ses difficultés arthriques. En revanche, à l'écrit, il fournit la séquence de 1 à 31 attendue avec une seule erreur (omission de 27). En lettres, il écrit la séquence suivante : « un deux (...) onze deuze trize quatorze » et

abandonne avant le « seize » attendu. Il compte par écrit de dix en dix jusqu' à « soixante » au lieu de « quatre- vingt-dix ».

Il est évident qu'il s'agit de deux profils distincts, et qu'une cotation plus fine, prenant aussi en compte la longueur des productions quand il y a échec partiel, montrerait que :

- l'écart qualitatif réel est important dans ce cas, puisque le premier sujet présente des difficultés importantes même pour les séries automatiques les plus élémentaires (i.e., les unités) ;
- l'écart qualitatif réel est plus faible si on compare les productions du deuxième sujet avec celles du sujet qui obtient 12 points. Les différences se manifestent essentiellement dans le code verbal, et la distance par rapport à la lésion (44 mois contre 7 mois) peut ici jouer un rôle important, à l'écrit (*possible réapprentissage de la structure alphabétique des mots nombres*) comme à l'oral (*durée d'exposition à la rééducation orthophonique des troubles phonétiques*).

Ces nuances étant apportées, il semble tout de même se dégager, sur l'ensemble des productions relevées, au moins **deux traits généraux :**

❑ Les problèmes de comptage surgissent généralement au-delà de 10, et se manifestent par ***3 types d'erreurs au sein de la séquence canonique des nombres:***

- Des INVERSIONS ;

exemple relevé : « 1-2-(...)-23-22(...) »

- Des OMISSIONS ;

exemple relevé : « 1-2-(...)26-28(...) »

- Des PERSEVERATIONS

exemple relevé : « 1-2-(...)5-5-(...) »

Ces erreurs concernent généralement un seul chiffre de la série.

- Le comptage de 3 en 3 est très majoritairement possible jusqu'à au moins 9 et **le comptage à rebours (de 22 à 1) est la difficulté la plus systématique** : il n'est réalisé de façon complète que par un sujet.

Par ailleurs, les performances relativement homogènes du groupe en dénombrement de collections de points suggèrent que le comptage de 1 en 1 jusqu'à au moins 12 est possible pour une majorité des sujets.

2) DENOMBREMENT

Dans cette épreuve, si seulement 30% des aphasiques obtiennent le maximum des points, **70% d'entre eux n'échouent pas plus de 3 items sur les 15.** L'écart de scores important avec le comptage peut paraître surprenant, mais ici :

- Les cardinaux d'ensemble n'excèdent jamais 12 ;
- Le comptage de 1 en 1 suffit pour réussir tous les items ;
- Les réponses sont fournies en chiffres.

Les deux premiers subtests sont à peu près réussis par tous : ils comportent des collections de *4 à 6 points* et le score du groupe avoisine les 90%. Une fois encore, le score ne reflète pas exactement le nombre d'erreurs. Parfois, des bonnes réponses sont données à l'oral ou avec les doigts, bien que la transcription en chiffres soit fausse : dans ces cas, l'examinateur attribue 1 point sur 2 .
Aussi, le nombre réel d'erreurs sur l'ensemble des réponses enregistrées pour ces 2 premiers subtests n'est que de 6 sur 60, et 3 sont attribuables au même sujet.

En revanche, **dans les 3 autres subtests**, les erreurs se distribuent plus équitablement. Cette fois, il s'agit de *numérosités comprises entre 7 et 12* , et **les difficultés de comptage commencent à influer sur les scores.**

Il faut préciser également que, contrairement au groupe d'épreuves précédent, *le sujet est toujours invité à pointer les collections dénombrées et à oraliser la séquence numérique.*

Avec l'introduction du pointage et du comptage à voix haute apparaissent 3 types d'erreurs[56] :

- ERREURS DE CORRESPONDANCE TERME A TERME (CTT) :

Il en existe deux types, que nous différencions en fonction de leur dominante spatiale ou verbale.

- *Erreurs de CTT « spatiale »* : il y a violation du principe selon lequel chaque objet de la collection doit être pointé *au moins* une fois, *et pas plus* d'une fois.

Dans ces cas, un point peut être omis ou, a contrario, compté plusieurs fois. Les omissions ou répétitions observées dans le groupe ne concernent jamais plus d'un point de la collection à dénombrer.

- *Erreurs de CTT « verbale »* (principe : à un objet dénombré doit correspondre *au moins* une, et *pas plus* d'une étiquette verbale).

Le comportement qui en découle ressemble à une désynchronisation entre récitation de la séquence verbale et pointage. Tous les objets sont pointés une et une seule fois, mais il leur correspond soit plusieurs (répétitions), soit aucune étiquette verbale (omissions).

- ERREURS LIEES A L'ORDRE CONVENTIONNEL : dans ce cas, la séquence des nombres n'est pas respectée (omission ou répétition d'un numéral dans la chaîne parlée), bien que les principes de correspondance terme à terme soient respectés.

[56] Cette classification nous est inspirée par les travaux de Gelman et Gallistel (1978) sur le développement des activités de comptage chez l'enfant.

- ERREURS DE TRANSCRIPTION : la correspondance terme à terme, ainsi que l'ordre conventionnel sont bien respectés, et la réponse fournie oralement ou avec les doigts est correcte. C'est la transcription en chiffres arabes qui est incorrecte. Dans ces cas, l'item est coté 1 point au lieu de 2.

Globalement, les erreurs de correspondance terme à terme sont rares (3 erreurs de CTT « spatiale », 2 erreurs de CTT « verbale ») et les problèmes naissent moins du pointage que de l'oralisation de la séquence.

Au total , en dénombrement, mais surtout en comptage, deux facteurs favorisent la survenue d'erreurs :

- L'oralisation, bien sûr, qui fait naître des erreurs qui n'existent pas en notation digitale ;

- La grandeur des numérosités impliquées.

Dans la comparaison de nombres, en revanche, cet effet de taille a un moindre impact.

3) COMPARAISON ET ECHELLE ANALOGIQUE

Dans l'épreuve de comparaison en code chiffres (subtest 5A), **les nombres impliqués sont très similaires à ceux rencontrés dans les transcodages**. Il s'agit de nombres de 3 à 5 chiffres qui présentent exactement le même seuil de difficulté, tant au niveau de l'analyse morphologique (identification des chiffres) que syntaxique (identification de la position relative de ces chiffres).

Pourtant, c'est dans cette épreuve qu'est relevé un des taux de réussite les plus significatifs du test pour tous les sujets : 6 atteignent le score plafond, et 3 ne commettent qu'une seule erreur. Même le patient qui, au total, ne recueille que 97 points sur l'ensemble du test, n'y commet que 2 erreurs.

De la même façon**, bien que le comptage soit altéré chez la plupart des participants, ils peuvent tous, souvent sans erreur, situer des nombres arabes à deux chiffres sur une échelle graduée de 1 à 100**.

Or, pour pouvoir comparer deux nombres avec autant de réussite, ou les situer entre deux autres, il faut pouvoir **juger de leur magnitude relative, et avoir une idée au moins approximative des numérosités représentées**.
Il est donc probable qu'une relation d'ordre plus petit/ plus grand soit encore établie entre les nombres, à défaut d'une relation ordinale plus précise (i.e., +1/-1), mais plus intimement liée aux symboles exacts.

En résumé, la confrontation des différents résultats (comptage/dénombrement, ou transcodages/comparaison) fait naître un certain nombre de contradictions : toutes suggèrent que les aphasiques testés sont capables d'accéder à certains concepts numériques liés à des numéraux que, pour la plupart, ils n'arrivent pas à étiqueter précisément.
En d'autres termes, le groupe aurait exactement le profil de performances que nous décrivons page 35 pour le *patient NAU*.
Il semble, au vu des autres résultats du test, que le parallèle existe aussi dans les conduites de calcul.

CHAPITRE 2

LES TRAITEMENTS ARITHMETIQUES

Les résultats des participants répondent largement aux distinctions théoriques mentionnées en première partie entre les différentes composantes du calcul. Il apparaît des écarts de performances, d'une part, entre tâches arithmétiques exactes et approximatives, et d'autre part, entre les faits et les concepts arithmétiques.

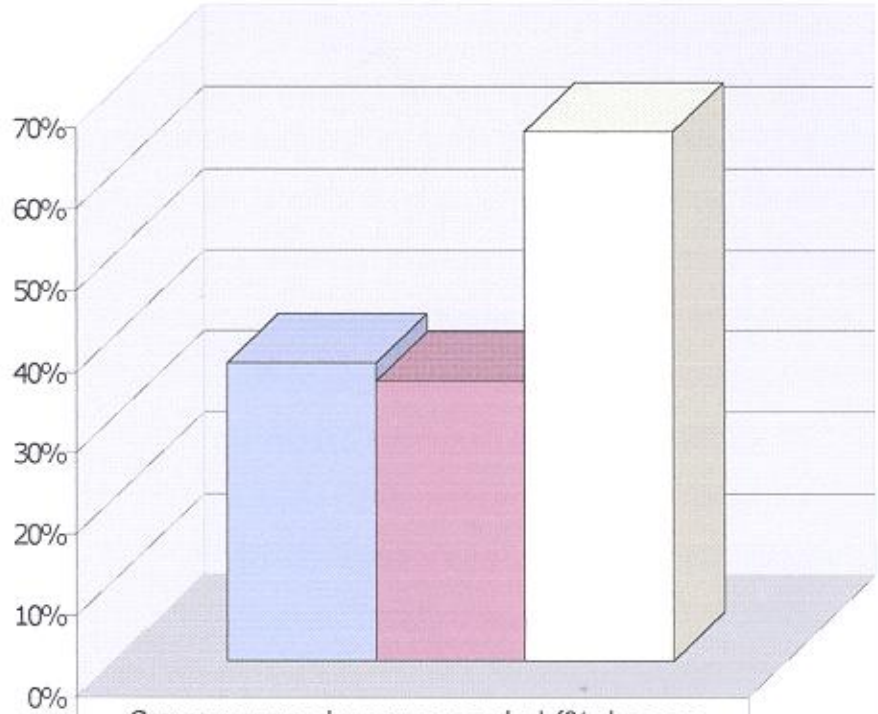
Au sein du calcul exact simple, il existe des dissociations entre les opérations : l'addition est nettement favorisée par rapport aux trois autres opérations. Par contraste, la multiplication est très déficitaire , et même les résultats corrects semblent devoir être fournis indirectement.

I. PERFORMANCES DANS LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU CALCUL

1) CALCUL EXACT VS CALCUL APPROXIMATIF

Les performances globales obtenues dans l' « approximation du résultat d'opérations » sont presque 2 fois supérieures à celles du « calcul écrit » (graphique 4).

On peut considérer que ces deux tâches diffèrent essentiellement dans leur consigne (résultat exact ou approchant) : les opérandes sont dans les



	Scores moyens du groupe en calcul (% du score maximum)
calcul mental (exact simple)	36,67%
calcul écrit (exact complexe)	34,38%
approximation du résultat d'opérations	65%

Graphique 4 : Résultats du groupe aux trois tâches de calcul de l'EC301.

deux cas des nombres arabes à 3 chiffres, et les opérations arithmétiques sont identiques. Les résultats sont, dans cette mesure, directement comparables et semblent confirmer l'existence de dissociations entre ces deux types de calcul.

Néanmoins, l'épreuve d'approximation ne fait pas partie des meilleurs scores manifestés ; de plus, les différences interindividuelles sont assez marquées . Si 3 sujets ne font aucune erreur, 5 autres échouent au moins la moitié des items, suggérant qu'il n'existe pas de pattern spécifique de performances au niveau du groupe. Autrement dit, l'influence de l'aphasie sur la réussite ou l'échec à cette épreuve serait secondaire.

Au total, l'interprétation de ces résultats est complexe, et il est possible que des facteurs comme le niveau socio-culturel ou l'âge interfèrent.
De plus, la comparaison avec NAU est impossible car l'approximation testée chez lui concernait des opérations simples, comme « 2+3=9 ».

2) CALCUL EXACT SIMPLE VS CALCUL EXACT COMPLEXE

Selon nos résultats, les aphasiques moteurs rencontrent donc des difficultés singulières dans le calcul exact ; la comparaison entre les scores « calcul écrit » et « calcul mental » (graphique 4) suggère que **l'effet de taille n'a que peu d'influence sur les taux de réussite. Plus encore, il semble avoir un effet paradoxal** puisqu'il existe un léger avantage de score en faveur du calcul complexe. On retrouve d'ailleurs la même tendance dans les résultats d'Anna Basso (2000), où il y a à la fois plus de scores « pathologiques » et moins de scores « normaux » en calcul mental simple qu'en calcul écrit complexe.

Comme nous l'avons déjà signalé, nous pensons que cet écart tient beaucoup au fait que **le système de cotation n'est pas strictement identique** : le simple respect du décalage des résultats intermédiaires en multiplication complexe assure au moins deux points, ce qui n'est pas le cas en calcul simple. **En considérant uniquement l'exactitude des résultats, les performances sont légèrement inférieures en calcul complexe, mais restent quand même très comparables**. Cela semble cohérent avec le fait que :

- le calcul avec de grands nombres ajoute des **stratégies computationnelles**, d'élaboration conceptuelle (i.e., les algorithmes de résolution, les règles de reports et d'emprunts, etc.) à la récupération de faits arithmétiques ;

- ces stratégies recrutent une *attention spatiale* particulière, l'intervention de la *mémoire de travail* (calepin visuo-spatial) et *de fonctions cérébrales exécutives* (planification des séquences d'opérations intermédiaires, sélection/ inhibition des réponses, gestion des retenues, etc.) ; on peut supposer que la plupart de ces fonctions, à déterminisme préfrontal et pariétal inférieur[57], est préservé dans la population-test.

Qu'il s'agisse de grands nombres ou d'unités, il existe d'ailleurs un certain parallélisme entre les taux de réussite dans les différentes opérations, suggérant l'existence de dissociations à valeur générale.

3) DISSOCIATION ENTRE OPERATIONS

Dans toutes les épreuves de calcul du test, qu'il s'agisse d'approximation ou de calcul exact, avec de petits ou de grands opérandes, il ressort que **l'addition est nettement favorisée par rapport aux autres opérations.**

Par exemple, **en approximation, les additions sont le plus systématiquement réussies par tous** ; les 2 sujets qui présentent le plus de difficultés dans cette tâche échouent à toutes les opérations sauf aux deux sommes qui leur sont présentées.

En calcul mental simple (épreuve 6), l'analyse item par item (cf page 89 et suivantes) permet ensuite de déterminer des taux de réussite moyens (tableau 22) pour chaque opération, en divisant le nombre de bonnes réponses trouvé par le nombre total d'items (i.e., 40 pour chacune des 4 opérations).

Il en ressort à nouveau une réussite significativement plus importante en addition, l'opération la plus déficitaire étant la division. Signalons que ces chiffres sont relativement comparables à ceux obtenus par Delazer (1999) : bien qu'ils soient globalement plus faibles, ils dénotent les mêmes tendances, c'est à dire **une nette altération de la multiplication** comparée à l'addition ou à la soustraction.

[57] In Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B., Mangun, G.R., *Neurosciences cognitives : La biologie de l'esprit*, notamment page 431.

	Taux de réussite moyens dans l'épreuve « calcul mental »
Additions	*55%*
Multiplications	*30%*
Soustractions	*45%*
Divisions	*20%*

Tableau 22: Taux de réussite moyens par opération calculé pour les items de l'épreuve 6.

L'existence de dissociations entre opérations est un fait connu depuis longtemps en neuropsychologie (rappelons que quelques exemples figurent en ANNEXE3), et des déficits sélectifs concernant une seule ou plusieurs opérations sont rapportés dans maintes études de cas chez le cérébrolésé. Différentes hypothèses explicatives ont été formulées, mais il en existe principalement deux :

- McCloskey & al. proposent dans leur modèle (ANNEXE 2) l'autonomie fonctionnelle des faits arithmétiques en général, mais supposent que l'observation de dissociations entre eux s'explique parce qu'il existe **des réseaux distincts en mémoire** pour chaque opération.

- **Dehaene et Cohen (1995) proposent l'hypothèse de différents niveaux de traitement** dans la résolution d'opérations :
  - les multiplications et quelques additions simples sont dépendantes d'une **mémoire verbale de routine** parce qu'elles sont apprises de façon systématique sous forme de tables ;
  - les autres opérations nécessitent **l'utilisation de stratégies de calcul.**

Dans l'hypothèse de Dehaene, **les dissociations comportementales s'expliquent par l'atteinte d'un des deux niveaux de complexité** :

- Soit l'atteinte porte sur les stratégies d'élaboration sémantique, la *compréhension conceptuelle de l'arithmétique (niveau supérieur)* auquel cas sont seulement préservées les routines multiplicatives et additives ;
- Soit l'atteinte porte sur ces *automatismes verbaux (niveau inférieur),* auquel cas la *multiplication* est sévèrement altérée, et l'atteinte des autres opérations est plus relative.

Chez l'aphasique moteur, il est manifeste que l'atteinte porte sur le niveau de traitement inférieur, et les données temporelles que nous recueillons suggèrent bien l'encodage verbal préférentiel de la multiplication.

II. FAITS ARITHMETIQUES : TEMPS DE REPONSES ET STRATEGIES

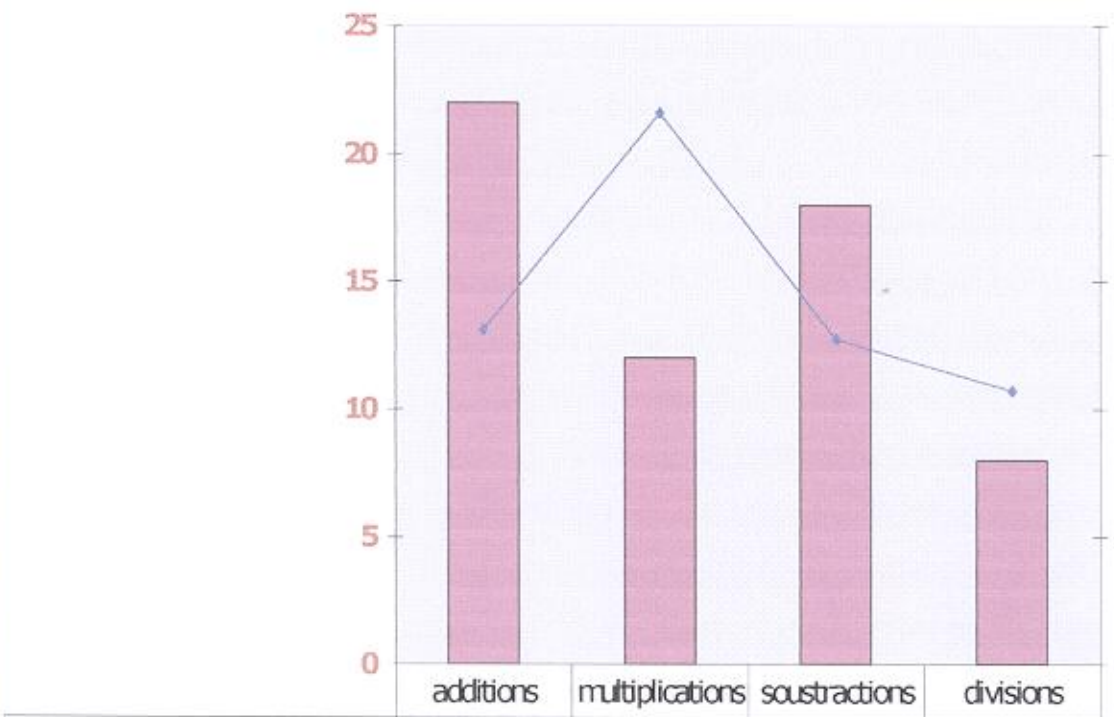
1) TEMPS DE REPONSES PAR OPERATION

L'analyse des différents items met en évidence des taux de réussite très faibles pour la multiplication et la division chez les aphasiques. Il est généralement admis que la stratégie de résolution de la plupart des divisions consiste à passer par la multiplication inverse qui leur correspond[58]. Il semble donc cohérent qu'un déficit en multiplication ait des répercussions comparables, voire encore plus importantes, sur le taux de réussite des divisions.

[58] LeFevre J.A., Morris, J., « More on the relation between division and multiplication in simple arithmetic : evidence for mediation of division solutions via multiplication », *Memory and Cognition*, **27**(5),803-812 (1999).

Quoi qu'il en soit, le groupe d'opérations inverses « multiplication-division » est ici deux fois moins réussi que son homologue « addition-soustraction » (respectivement 25% et 50% de taux moyen de réussite).

L'analyse des temps de réponses révèle également l'existence de deux tendances en liaison avec les groupes d'opérations inverses (graphiques 6 et 7).



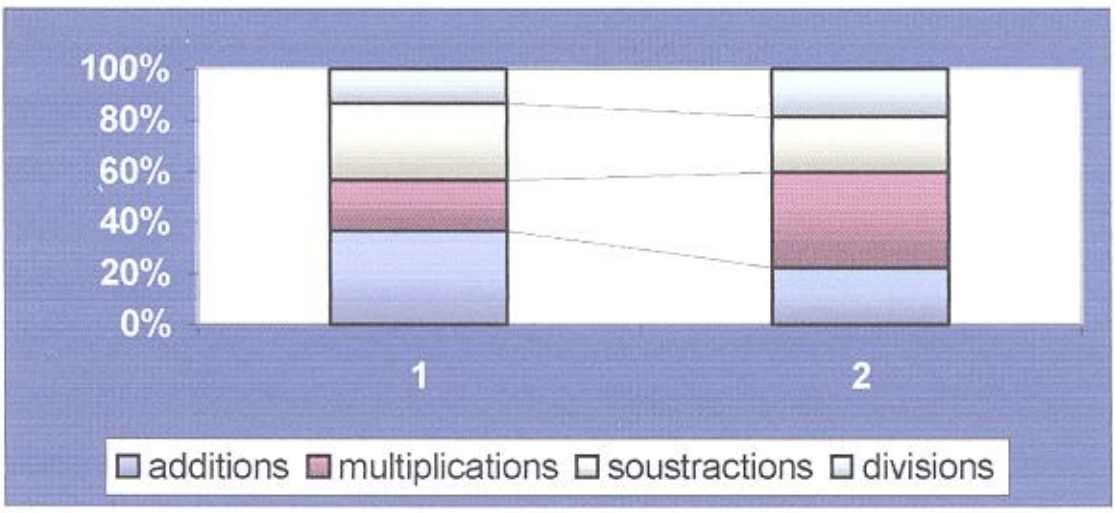
	additions	multiplications	soustractions	divisions
nombre total de réponses correctes dans l'épreuve 6	22	12	18	8
temps cumulés des réponses correctes de l'épreuve 6 (en secondes)	131	216	127	107

Graphique 6 : Présentation synoptique des temps de réponses chronométrés et du nombre de réponses correspondant.
(pour les résultats corrects fournis dans l'épreuve 6)

Sur le graphique 6 sont présentées les données brutes qui concernent, rappelons-le, uniquement les *bonnes réponses* fournies à l'épreuve de calcul mental simple. Il apparaît déjà que les additions recueillent le plus grand nombre de bonnes réponses, et que les temps de réponses en

multiplication sont très importants. Le graphique 7 est construit à partir des mêmes données, mais permet de visualiser le fait que :

Pour le groupe « addition-soustraction », les sujets mettent 2 fois moins de temps pour fournir 2 fois plus de bonnes réponses que dans le groupe « division-multiplication ».

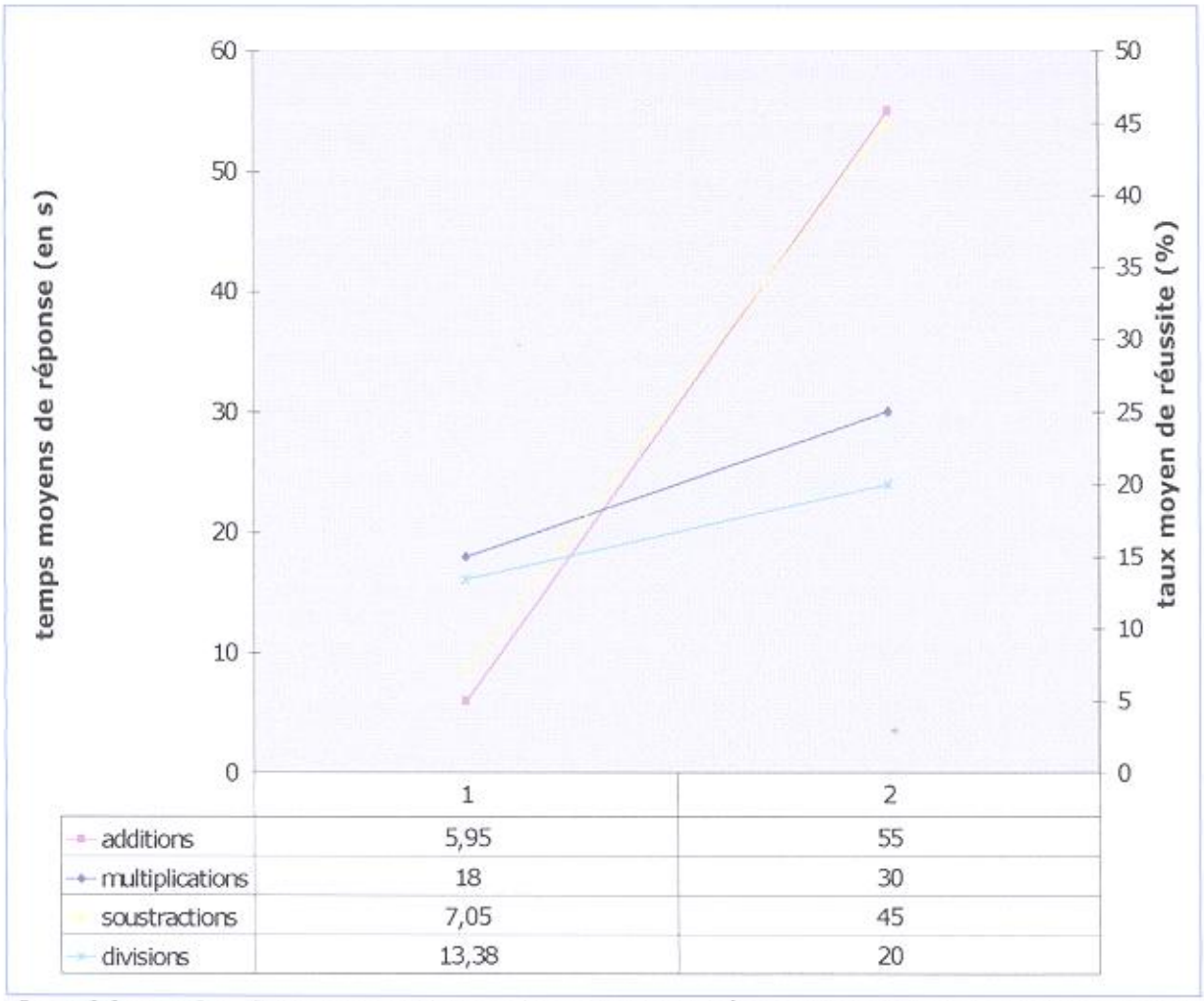


Graphique 7 : Part respective des 4 opérations de l'épreuve 6 dans :
1- le total des bonnes réponses du groupe (colonne gauche);
2- les temps cumulés ayant servi à fournir ces bonnes réponses (colonne droite).

Ces diparités se reflètent aussi dans **les temps moyens de réponse par opération** . Par ordre croissant, on retrouve :

- *L'addition* : environ 6 secondes
- *La soustraction* : environ 7 secondes
- *La division* : environ 13 secondes
- *La multiplication* : environ 18 secondes

} pour fournir une bonne réponse.



Graphique 8 : Comparaison pour les items de l'épreuve 6 des temps moyens de réponses (colonne 1, en secondes) et des taux de réussite moyens (colonne 2, en %) pour chaque opération.

Les différences entre ces deux groupes d'opérations inverses sont donc très marquées.

En comparant maintenant pour chacune des quatre opérations, les taux de réussite et temps de réponses respectifs (graphique 8), il semble exister :

- **Une plus grande homogénéité du groupe « addition- soustraction » ;** elle se mesure par des écarts moins importants entre les temps de réponse et les taux de réussite pour ces deux opérations.
- **Un écart très important entre les temps de réponse des multiplications et ceux des 3 autres opérations**. En

particulier, les aphasiques mettent 3 fois plus de temps à fournir des produits corrects qu'à fournir des sommes correctes.

Nous interprétons ces écarts temporels comme le reflet de *stratégies* de résolution particulières en multiplication. Le paragraphe suivant indique pourquoi ces différences interviennent bien, selon nous, au niveau des stratégies de calcul, et non à un niveau plus périphérique de traitement (encodage de l'opération ou production de la réponse).

2) NATURE DES TEMPS CHRONOMETRES

Rappelons que les temps chronométrés reflètent par hypothèse 3 phénomènes principaux :

t1 = temps de *présentation* et *d'encodage* des stimuli (identification des stimuli après analyse visuelle ou auditive) ;

t2 = temps de *traitement arithmétique* (recherche du résultat) ;

t3 = temps de *planification motrice* du résultat (intervention de la mémoire de planification phonologique ou graphique) ;

Nous pensons que l'écart de temps important pour la multiplication reflète des *variations de t2* pour les raisons suivantes :

- Chacune des opérations du test intègre deux chiffres et un signe arithmétique. A notre connaissance, il n'y a donc **pas de raison particulière pour que l'analyse visuelle** (identification des traits constitutifs saillants des stimuli) **ou auditive** (identification du contenu phonétique des stimuli) **soit *plus* complexe pour une opération que pour une autre.**

Par exemple, le stimulus visuel « 3x8=» n'est pas fondamentalement différent du stimulus « 8+5= ». Les deux opérations contiennent un nombre comparable de traits, hampes ou boucles, et leur identification visuelle doit vraisemblablement faire intervenir des processus de complexité analogue.
Nous pensons donc que le t1[59] *moyen du groupe est relativement homogène pour les 4 opérations.*

- De la même façon, **la planification phonologique ou motrice d'un nombre ne dépend pas du caractère multiplicatif ou additif du problème dont il constitue le résultat.**

Etant donné qu'il s'agit ici de calcul mental simple avec de petites opérandes, les résultats à produire sont de complexité comparable : il s'agit de nombres à un ou deux chiffres.

- Enfin, nous supposons sans pouvoir l'affirmer que le groupe est assez homogène pour que les écarts entre ces temps ne varient pas trop d'un sujet à l'autre.

En définitive, si les temps moyens de réponses enregistrés diffèrent fortement d'une opération à l'autre, il est peu probable que ces écarts interviennent à un niveau périphérique de traitement (i.e., au niveau de t1 ou t3). *Nous pensons qu'ils tiennent plutôt aux variations de t2*, et qu'ils peuvent finalement refléter des stratégies de résolution distinctes en fonction du type d'opération.

En l'occurrence, la distinction est particulièrement nette pour la multiplication : elle peut indiquer que le résultat n'est pas récupéré de façon automatique en mémoire.

[59] NB : les résultats EEG présentés page 40 donnent une idée de l'échelle temporelle de ces phénomènes chez le sujet sain (très exactement : pour le t1 d'encodage d'une addition simple présentée visuellement).

3)NATURE INDIRECTE DES STRATEGIES DE RESOLUTION DES MULTIPLICATIONS

La stratégie de résolution pertinente est probablement adoptée en seconde intention, mais sa nature reste à déterminer. D'après les résultats de LeFevre (1996), le sujet sain peut utiliser 3 types de stratégies indirectes :

- *dériver des faits ;*

Exemple : « 6x5 = 5x5 + 5 »

- *passer par des séries numériques ;*

Exemple : « 6x5 = 5, 10, 15, 20, 25, 30 »

- *procéder par additions répétées.*

Exemple : « 5x2 = 5+5 »

Il existe certainement des différences interindividuelles à ce niveau ; cependant, au vu des faibles résultats du groupe à l'épreuve de comptage de l'EC301 (cf page 97), **le passage par des séries automatiques est la stratégie la moins vraisemblable.**

D'autre part, la dérivation, qui nécessite la médiation par d'autres faits arithmétiques, est par définition peu probable . Toutefois, il est possible que certains sujets puissent passer par les tables de 10, puisqu'il s'agit dans ce cas d'appliquer à un opérande une simple règle arithmétique (i.e., l'ajout du « 0 » à droite)[60].

Au total , la stratégie compensatoire qui peut être développée par le plus grand nombre d'aphasiques est la

[60] Le passage par un tel algorithme de résolution est décrit en 1994 dans une étude de cas [Hittmair-Delazer, M., Semenza, C. & Denes F., « Concepts and facts in calculation », *Brain,* **117**, 715-728 (1994)].
Le patient B.E., suite à une lésion des ganglions de la base de l'hémisphère gauche, souffre d'une aphasie motrice. Il a perdu tous les faits multiplicatifs sauf ceux régis par des règles (du type nx0, nx1 et nx10). Il développe des stratégies compensatoires complexes, mais efficaces, à partir de ces faits préservés et grâce à de solides connaissances arithmétiques conceptuelles. Par exemple, le résultat à des problèmes du type « 9 x n » est trouvé indirectement en effectuant « 10n – n ».

procédure par additions répétées. Elle est cohérente à la fois avec l'allongement du temps de réponses et la relative préservation de l'addition dans le groupe-test.

Au vu de ces résultats, il semble donc que la multiplication, plus que toute autre opération arithmétique, fait *spontanément* appel à des stratégies de récupération directe. Ces stratégies sont défaillantes chez l'aphasique, parce qu'elles appellent en premier lieu l'utilisation de représentations auditivo-verbales du nombre. Toutefois, nos résultats suggèrent que des stratégies indirectes (un calcul à proprement parler) sont efficaces pour cette opération, bien que peu économes.

La question de savoir pourquoi certains sujets du groupe développent des moyens de compensation, et d'autres pas, reste ouverte. Néanmoins, il est certain que pour convertir une multiplication en additions répétées, il faut avoir *conceptualisé* les relations entre ces opérations, et on peut penser que l'enseignement systématique sous forme de tables ne le favorise pas chez tout le monde.

Ce problème ne se pose pas pour les autres opérations, où il n'existe pas de tables. Dans ce cas, une véritable computation de *quantités*

numériques est toujours nécessaire, à défaut de représentations *verbales* directement disponibles.

L'hypothèse que différents aspects du nombre sont mobilisés en fonction du type d'opération et même, plus généralement, du type d'activité numérique, est au centre du modèle dominant en neuropsychologie. Ce modèle, dit du Triple Code, constitue l'objet du dernier chapitre de ce mémoire. Nous en profitons pour mettre en perspective et en cohérence un grand nombre de résultats évoqués jusqu'ici.

CHAPITRE 3

LE MODELE DU TRIPLE-CODE OU LA SEMANTIQUE APPROXIMATIVE :

I. UNE APPROCHE "TACHE-ORIENTEE", ANATOMIQUE ET FONCTIONNELLE

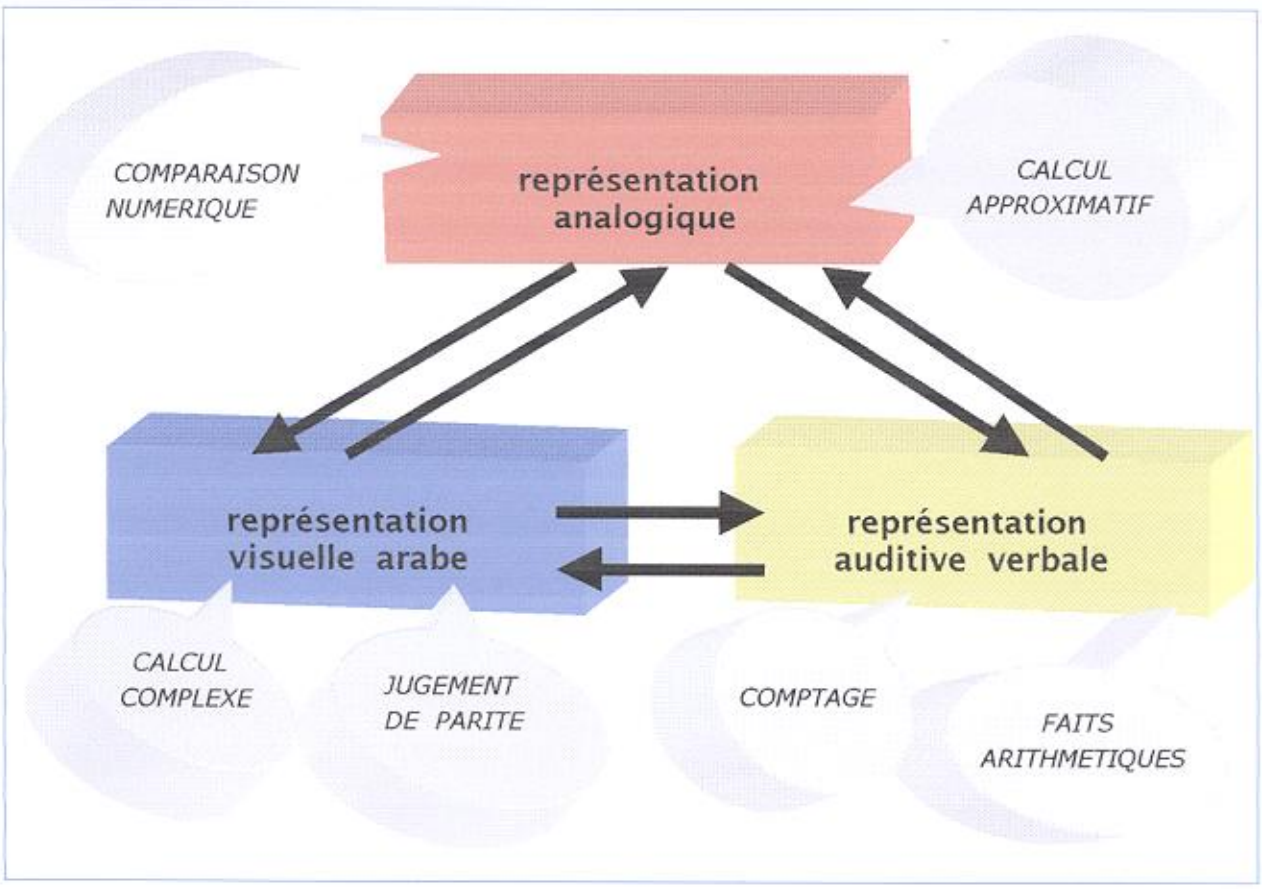


Figure 8: Le modèle Triple Code : différentes tâches de calcul appellent différentes représentations internes du nombre.

1. ASPECTS GENERAUX

Le modèle Triple Code est proposé par Dehaene et Cohen en 1995. Les auteurs tentent d'interpréter et de mettre en cohérence les données lésionnelles issues de différentes études de cas, puis les recoupent avec la topographie des activations cérébrales chez le sujet normal ; ils en dégagent un modèle qui comporte des aspects fonctionnels (i) et neuroanatomiques (ii) :

(i) *Du point de vue fonctionnel*, les différentes tâches numériques et arithmétiques sont supposées faire appel à **3 aspects principaux du nombre ;**

(ii) ces 3 représentations numériques sont projetées sur des *bases neuroanatomiques,* en fonction de leur **dominante visuelle, spatiale ou verbale.**

Enfin, les auteurs posent l'hypothèse que **chaque représentation est directement liée à des mécanismes de compréhension et de production spécifiques à la notation** (i.e., verbale ou arabe).

Nous présentons d'abord les aspects fonctionnels (i.e., les « 3 codes » du modèle), avant d'envisager les substrats neurologiques proposés par les auteurs.

2. ASPECTS FONCTIONNELS

Le postulat fondamental de ce modèle est donc **l'existence de trois représentations du nombre, fonctionnellement distinctes** (figure 8, en bleu, jaune et rouge), mais **interconnectées par des voies de traduction interne** (figure 8, flèches noires).

D'ailleurs, le sujet sain accède aux trois représentations quasi simultanément (cf page 18, note [22]).

Chaque représentation est spécifiquement manipulée pour un panel donné d'activités numériques (figure 8, bulles grises). Par exemple, pour *comparer* deux nombres, que le format d'entrée soit visuel ou auditif (code chiffres ou phonologique), il faut utiliser la forme *analogique* (la représentation de la magnitude liée à ces deux nombres).

Ainsi, **une représentation visuelle** arabe (i.e. des suites de chiffres représentées sur un médium visuo-spatial interne) est utilisée pour le traitement des nombres arabes, les jugements de parité ou les opérations à plusieurs chiffres (calcul complexe).

A contrario, **la forme verbale** (i.e. des séquences syntaxiquement organisées de primitives lexicales) est impliquée lors de l'écoute de nombres, de la lecture de mots nombres, le comptage et la résolution de multiplications ou d'additions simples. Ce sont ces opérations qui sont, nous l'avons vu, particulièrement touchées chez l'aphasique moteur.

Enfin, une **représentation analogique** permet le calcul approximatif ou la comparaison . Elle contient l'information de quantité liée à l'étiquette numérique (i.e., la numérosité).
Les auteurs l'imaginent sous la forme d'un continuum mental orienté de la gauche vers la droite, des petits vers les grands nombres.

Un grand nombre d'études soutient la notion d'une association automatique entre les magnitudes de nombre et les codes de réponses spatiaux (effet SNARC)[61].

Par exemple, une expérience[62] consiste à observer le comportement de sujets sains qui doivent couper en deux, avec un stylo, de longues suites

[61] "Spatial-Numerical Association of Response Codes".

D'ailleurs, le sujet sain accède aux trois représentations quasi simultanément (cf page 18, note [26]).

Chaque représentation est spécifiquement manipulée pour un panel donné d'activités numériques (figure 8, bulles grises). Par exemple, pour *comparer* deux nombres, que le format d'entrée soit visuel ou auditif (code chiffres ou phonologique), il faut utiliser la forme *analogique* (la représentation de la magnitude liée à ces deux nombres).

Ainsi, **une représentation visuelle** arabe (i.e. des suites de chiffres représentées sur un médium visuo-spatial interne) est utilisée pour le traitement des nombres arabes, les jugements de parité ou les opérations à plusieurs chiffres (calcul complexe).

A contrario, **la forme verbale** (i.e. des séquences syntaxiquement organisées de primitives lexicales) est impliquée lors de l'écoute de nombres, de la lecture de mots nombres, le comptage et la résolution de multiplications ou d'additions simples. Ce sont ces opérations qui sont, nous l'avons vu, particulièrement touchées chez l'aphasique moteur.

Enfin, une **représentation analogique** permet le calcul approximatif ou la comparaison . Elle contient l'information de quantité liée à l'étiquette numérique (i.e., la numérosité).
Les auteurs l'imaginent sous la forme d'un continuum mental orienté de la gauche vers la droite, des petits vers les grands nombres.

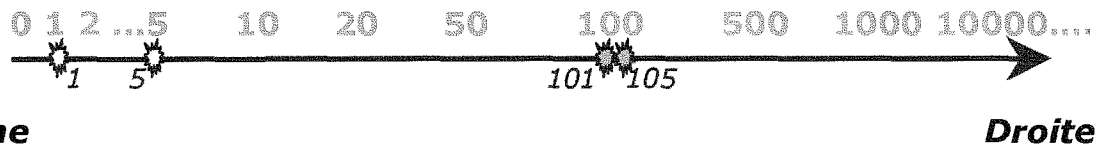
> *Un grand nombre d'études soutient la notion d'une association* automatique entre les magnitudes de nombre et les codes de réponses spatiaux (effet SNARC)[61].
>
> Par exemple, une expérience[62] consiste à observer le comportement de sujets sains qui doivent couper en deux, avec un stylo, de longues suites

[61] "Spatial-Numerical Association of Response Codes".

de chiffres identiques. La bisection est influencée vers la gauche quand les stimuli se composent de petits chiffres comme 1 et 2, et vers la droite pour les grands chiffres comme 8 et 9. Dans le même ordre d'idée, il est établi que, dans des tâches d'appariement, les temps de réponses sont plus rapides avec la main gauche pour les petits chiffres et avec la main droite pour les grands[63].

Sur ce continuum mental, les relations quantitatives sont **implicitement** données par des relations spatiales.

Sur cette ligne spatiale interne, les quantités numériques sont des pics d'activation qui sont plus rapprochés au voisinage des grands nombres. De la sorte, la *représentation analogique est plus précise pour les petites quantités que pour les grandes (loi de Fechner)*.
Cette ligne peut être représentée comme suit :



Sur ce schéma, il apparaît que les quantités en bleu[64] sont distinguées finement sur la gauche, mais se rapprochent ensuite de plus en plus vers la droite de la ligne. De la sorte, les représentations analogiques de *1* et de *5* (les activations) sont plus distantes l'une de l'autre que celles de *101* et *105* (activations) ; pourtant, l'intervalle numérique est de {4} dans les deux cas.
Dans cette perspective, comparer les distributions d'activation à gauche (entre 1 et 5) est plus facile et plus rapide qu'à droite (entre 101 et 105).

---

[62] MARTIN, H. & FISCHER, P., D., « Number processing induces spatial performance biases », *Neurology*, 57, 822-826 (2001).
[63] Cet effet ne dépend pas de la latéralité manuelle et survient même quand les sujets croisent les bras. En revanche, il dépend de la culture : l'orientation de la ligne est inversée dans les civilisations où le sens conventionnel d'écriture est droite-gauche.
[64] Par commodité, l'échelle est fournie en code arabe ; en fait, elle se compose de portions de ligne qui se recouvrent de plus en plus vers la droite. De la sorte, ces portions deviennent de moins en moins discrètes et de plus en plus grossières pour les grandes quantités. Donnons un exemple trivial, mais parlant : en assimilant la ligne à un train, et chaque portion à un wagon, il est plus facile de se représenter mentalement chaque wagon d'un train qui en comprend 3 que chaque wagon d'un train qui en comprend 30. De la même façon, il est plus facile de distinguer sur cette représentation spatiale le wagon n°2 et le wagon n°3 que le n°22 et le n°23. Au fur et à mesure, les portions de ligne deviennent de plus en plus grossières et les étiquettes deviennent des quantités de plus en plus approximatives.

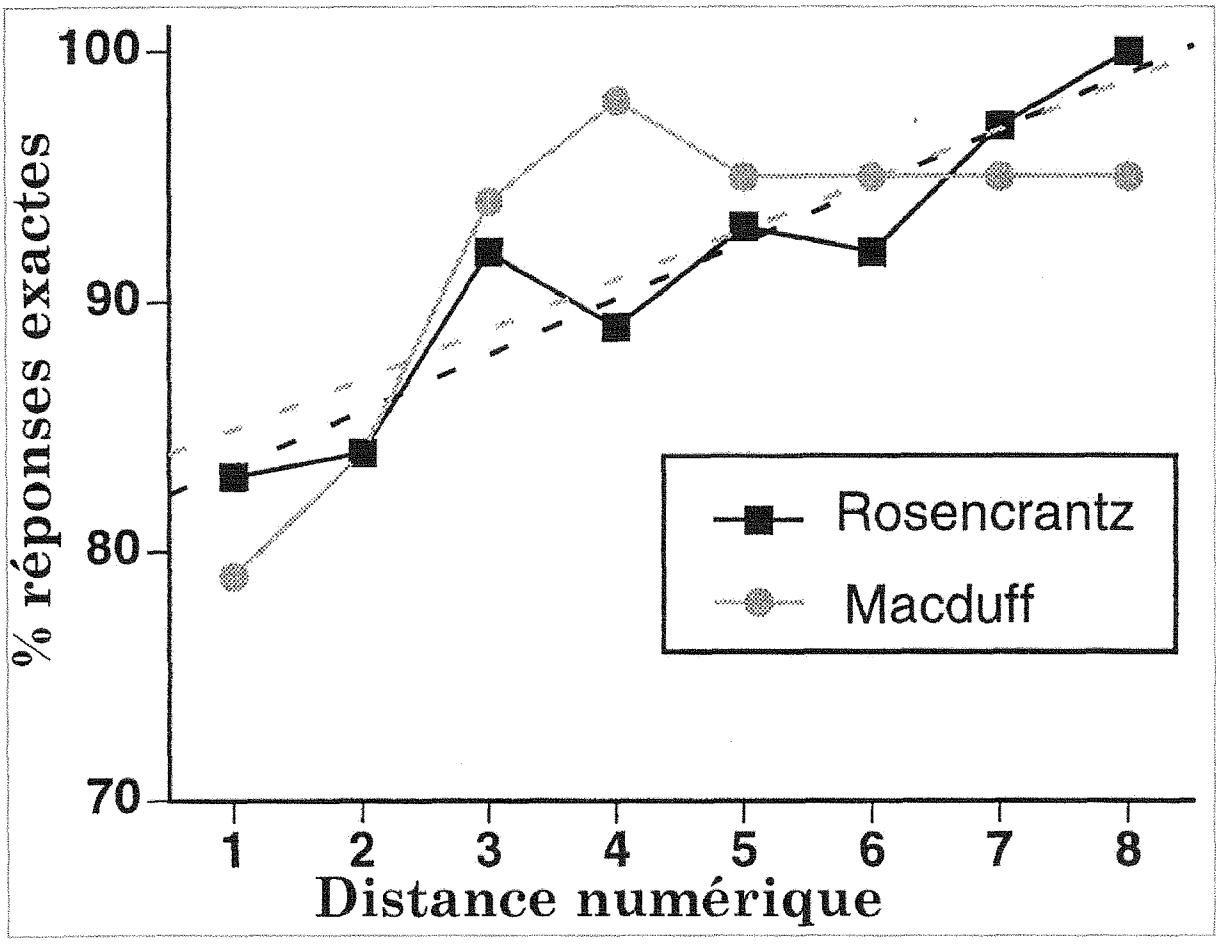


Figure 9 : Effet de distance numérique observé dans la deuxième phase expérimentale de l'expérience avec les rhésus (le taux de réussite décroît en même temps que la distance qui sépare les numérosités à comparer).
(extrait et traduit de Brannon & Terrace (1998))

Ceci peut expliquer que **dans les tâches de comparaison, c'est moins l'effet de taille que l'effet de distance qui ait un réel impact sur les temps de réponses et les taux d'erreurs.**

Cet effet de distance existe aussi chez Rosencrantz et Macduff (figure 9), suggérant que :

- ***la représentation analogique a une continuité phylogénétique dans le règne animal et n'est pas spécifique à l'homme.***
- ***cette représentation peut avoir des substrats cérébraux identiques***

En résumé :

❑ Ce modèle distingue, par exemple, pour le nombre arabe « 63 » :

- *une forme visuelle* : séquence <6> <3>.
- *une représentation verbale* : Dizaines {6} Unités {3}
- *une représentation analogique* sur une ligne numérique interne qui permet de concevoir que 63 est *avant* 70, ou qu'il est situé un peu plus loin que la moitié de la *distance* numérique entre 0 et 100.

❑ **Ce modèle implique que la première étape de toute tâche numérique consiste en la construction d'une représentation spécifique au format d'entrée.**

C'est ensuite que des transcodages internes donnent accès au type de représentation requise par la tâche. Nous renvoyons le lecteur aux résultats EEG de l'étude de Stanescu-Cosson qui suggèrent que des opérations identiques, présentées visuellement, sont encodées différemment en fonction du type de calcul. Dans ce cas, le format d'entrée est visuel , mais le transcodage est « visuel → analogique » pour la consigne « calcul approximatif », et « visuel → verbal » pour la consigne « calcul exact ».

3. ASPECTS ANATOMO-FONCTIONNELs

L'implantation proposée par les auteurs (figure 10) pour les trois représentations et les voies de transcodage interne est la suivante :

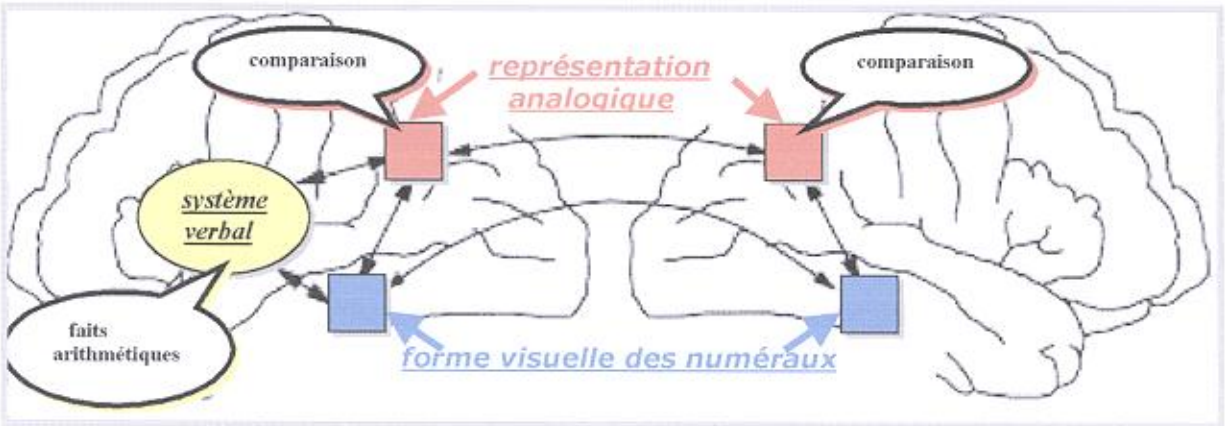


Figure 10: Le modèle neuro-fonctionnel du Triple-Code (d'après Dehaene, 1992)

- d'un côté, **les représentations visuelles** et **analogiques** **sont traitées dans les *deux hémisphères***, respectivement au niveau des aires occipito-temporales (près de la voie visuelle ventrale) et au sein des lobes pariétaux (en particulier, au niveau des sulci intrapariétaux)

- de l'autre, **la représentation verbale** est traitée par **l'hémisphère gauche au niveau des aires périsylviennes traditionnelles du langage.**

- il y a **des connections intra- et interhémisphériques** (i.e., transcalleuses) entre les diverses représentations.

La figure 11 synthétise toutes les données anatomiques et fonctionnelles du modèle, et permet d'envisager leurs relations avec d'autres structures cérébrales :

- La récupération des faits arithmétiques fait intervenir des *boucles cortico-sous-corticales* (intervention des noyaux gris centraux).

• Le calcul complexe fait intervenir des stratégies exécutives à déterminisme *préfrontal* qui organisent la séquence des étapes élémentaires (i.e., récupération des résultats intermédiaires, gestion des retenues, etc.)

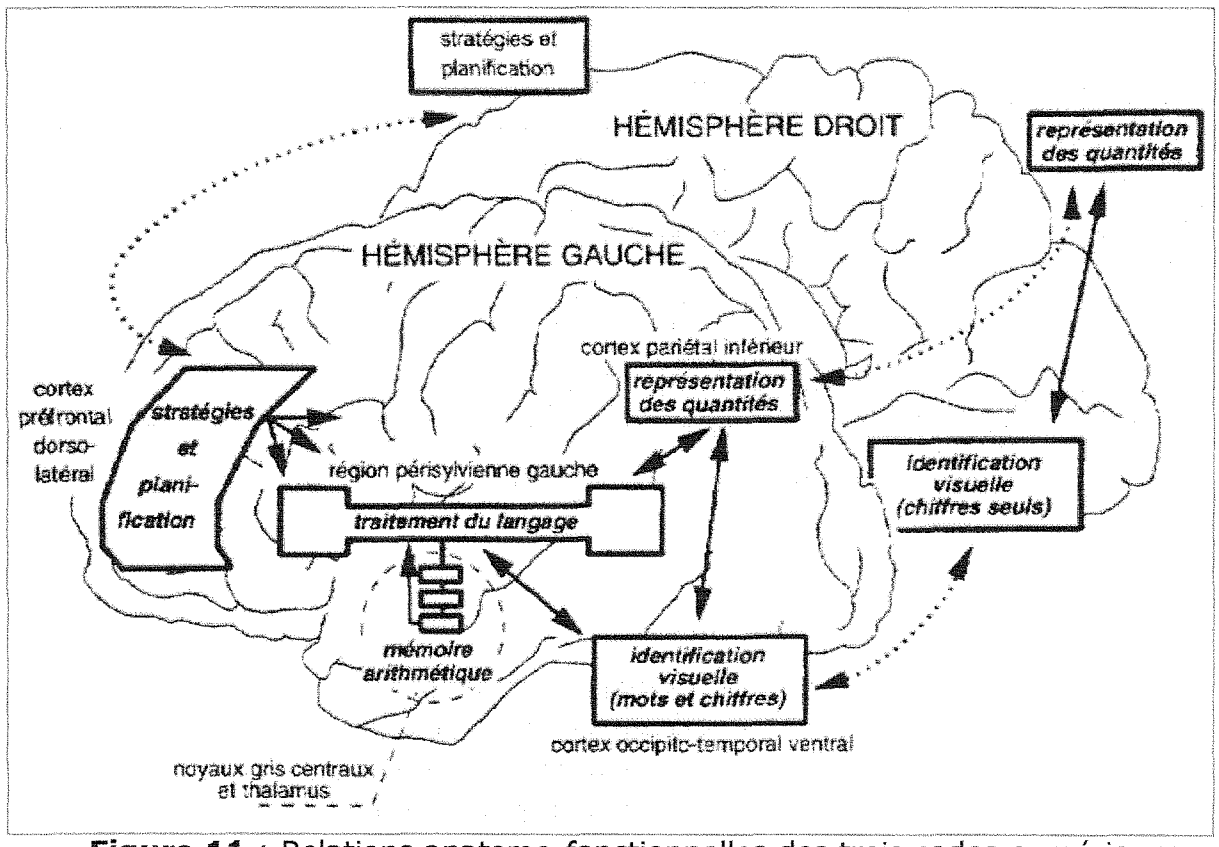


Figure 11 : Relations anatomo-fonctionnelles des trois codes numériques avec le cortex préfrontal et les structures sous-corticales.

II. INTERPRETATION DES TROUBLES NUMERIQUES OBSERVES DANS LE GROUPE-TEST

1. PRESERVATION DU CODE QUANTITE

En premier lieu, le modèle permet de distinguer dans le nombre **une représentation sémantique** (code analogique) et **deux**

représentations symboliques (code verbal et code arabe), qui chacune disposent de mécanismes de production et de compréhension autonomes. *C'est la traduction anatomique et fonctionnelle de la distinction, jusqu'ici purement théorique, entre concepts et symboles numériques.*

La préservation du code « quantité » peut expliquer les taux de réussite particulièrement importants observés dans quelques subtests. L'architecture de ce modèle permet, grâce à l'analyse de certaines épreuves de l'EC301, de mieux comprendre pourquoi.

Par exemple, dans des tâches comme **l'estimation de numérosités** présentées en tas, le format d'entrée n'est ni verbal, ni arabe.
On peut donc penser que la manipulation des quantités se fait directement sur les représentations spatiales. Il est probable que dans cette tâche, les voies de transcodage utilisées ne concernent que les régions postérieures qui sont indemnes. Aucune des étapes ne nécessite une médiation périsylvienne :

- D'abord, *l'encodage est visuel* ; il ne concerne pas des formes alphabétiques ou arabes, mais fait obligatoirement intervenir les aires occipitales.
- Ensuite, un *transcodage visuel-analogique* permet d'accéder rapidement aux numérosités des ensembles d'objets représentés, par des processus de subitisation ou d'estimation[65]. Il s'agit d'estimer grossièrement sur le continuum mental qu'il y a entre 0 et 100 flacons, et à peu près la moitié de cet intervalle.
- Enfin, un *transcodage analogique-arabe* permet de produire « 40 » ou « 50 », sans qu'un traitement verbal soit intervenu.

[65] Dehaene, S. & Cohen, L., « Dissociable mechanisms of subitizing and counting », *J. Exp. Psychol. : Human Perception and Performance*, **20**, 958-975.

La préservation des aires pariétales chez les participants explique également que les tâches de comparaison et d'approximation sont globalement préservées par rapport au calcul exact. En comparaison de nombres arabes, le format d'entrée est visuel, puis les transcodages internes empruntent les circuits neuronaux reliant les régions occipito-temporales et intrapariétales. L'activation des représentations de magnitude se fait sur un médium spatial, et les relations entre les deux numérosités sont implicitement données par leur position relative (avant ou après, plus à gauche ou plus à droite).

2. PRESERVATION DU CODE ARABE

L'autonomie des mécanismes de compréhension et de production des deux formats, i.e., des deux systèmes de notation numérique, permet également de comprendre pourquoi, sur l'ensemble du test, les réponses fournies en code chiffres sont toutes mieux réussies.
La seule exception à ce principe concerne les transcodages, où la médiation par le code verbal est obligatoire.
De la même façon, l'existence d'une voie directe visuo-analogique implique que des nombres arabes de complexité égale peuvent être comparés sans pouvoir être verbalisés.

3. DISSOCIATIONS ENTRE OPERATIONS ET LIMITES DU MODELE

Ce modèle permet enfin de comprendre les dissociations observées entre les différentes opérations arithmétiques du calcul exact simple, mais soulève également quelques questions lorsqu'on analyse les performances des aphasiques à l'épreuve 6B.

Dans l'épreuve 6B, où les problèmes sont présentés en code chiffres, le modèle prévoit deux voies principales pour résoudre des problèmes arithmétiques simples :

- **Une voie directe arabe-verbale** est utilisée lorsqu'il s'agit de résoudre des **faits arithmétiques**. Chez les aphasiques, l'encodage est possible (format visuel arabe), mais le transcodage arabe-verbal est perturbé. Le résultat ne peut pas être récupéré en mémoire arithmétique par la boucle qui relie cortex sylvien superficiel et substance grise profonde (cf figure 11).
- **Une voie indirecte arabe-analogique** est utilisée pour résoudre les autres opérations.

Dans la voie directe, les opérations sont traitées comme des séquences non interprétées de symboles, puisqu'il n'y a aucune médiation par le code « quantité ». On suppose ici que le sujet accède dans un premier temps à la forme visuelle (identité et position relative des opérandes arabes et du signe arithmétique), mais que le transcodage interne arabe-phonologique est soit impossible, soit perturbé.

En revanche, dans la voie indirecte, les étiquettes arabes et le signe sont « sémantisés ». De la sorte, chaque opérande arabe est transcodé en son équivalent « magnitude » et l'opération arithmétique est opérée sur la ligne analogique. Dans l'esprit des auteurs, cette voie est typiquement utilisée pour la soustraction et les additions « complexes » (en schématisant : opérandes >5).

Ainsi, en prenant l'exemple de l'item de l'EC301 : **« 5+8 »** , il y aurait successivement :

- ***activation*** des numérosités correspondant aux opérandes (suffisamment précise sur la gauche de la ligne analogique pour qu'ils soient distincts) ;
- ***déplacement vers la droite***, à partir de l'adresse « 8 » ou de l'adresse « 5 », de l'intervalle correspondant ;
- ***activation*** du résultat de l'opération: « 13 »

Les résultats observés chez les aphasiques répondent globalement à cette logique, et nous avons montré que les tables de multiplication sont très déficitaires. Cependant, certains résultats sont difficilement interprétables en respectant l'architecture du modèle, qui distingue complètement les deux voies, directe ou indirecte, la première étant exclusivement réservée aux multiplications (les additions simples ne sont pas testées ici).

De fait, nos résultats indiquent que :

- certains aphasiques répondent à des multiplications ;
- les temps de réponse sont élevés, suggérant que la récupération du résultat est indirecte.

Il semble donc que la réponse aux multiplications n'engage pas uniquement la voie directe.

Cette voie non sémantique est probablement utilisée en première intention : les aphasiques tentent spontanément de transcoder l'input visuel en son équivalent phonologique non interprété (une simple séquence de phonèmes ; par exemple : /trwafwayuit/).

Mais la « sémantisation » de la multiplication (i.e., 3x8 = 8+8+8) ne peut s'interpréter que par le passage indirect par des représentations de quantités (i.e., activation des formes analogiques 8 et 3), suggérant que **la voie indirecte peut aussi être utilisée pour résoudre des « faits arithmétiques ».**

D'ailleurs, les résultats de LeFevre (1996, voir page 63) suggèrent que ces stratégies indirectes existent, même chez le sujet normal.

De surcroît, les auteurs du modèle ont déjà observé une activation significative du *cortex pariétal inférieur* gauche chez des sujets effectuant des multiplications simples : ils l'interprètent comme le reflet de simples *stratégies de vérification.*

Nos résultats suggèrent toutefois que ces mécanismes peuvent également intervenir dans les *stratégies de résolution* des faits arithmétiques.

CONCLUSION

CONCLUSION.

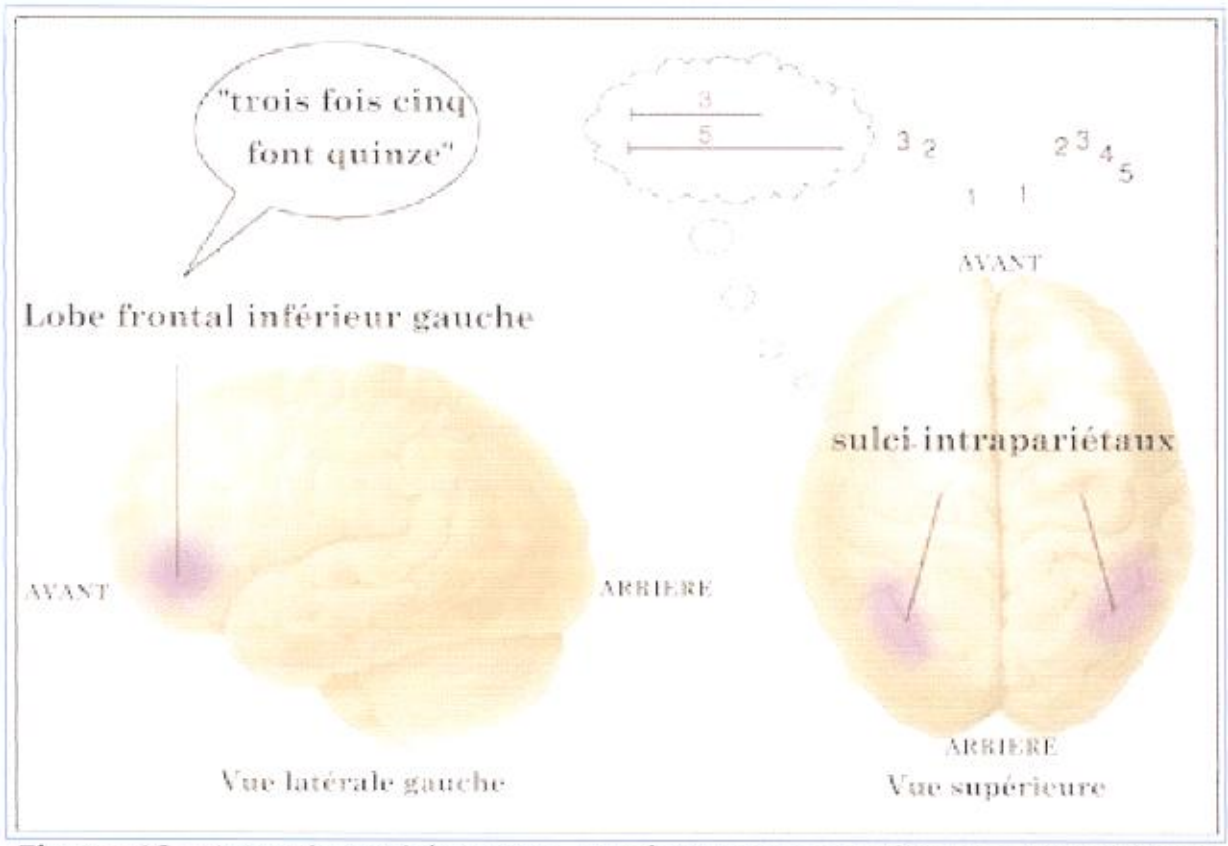


Figure 12 : Aptitude mathématique, représentations numériques et hypothèses anatomo-fonctionnelles.

Au travers de ce mémoire, nous avons tenté de répondre aux interrogations légitimes que le thérapeute peut se poser sur la nature exacte des troubles numériques chez l'aphasique.

Le but principal était donc de dresser la liste des troubles numériques et arithmétiques chez l'aphasique moteur, le présupposé étant que ces troubles pouvaient être systématisés. Pour cette approche descriptive, nous avons utilisé un test standardisé qui balaie un grand nombre d'activités numériques. L'analyse des résultats obtenus par un groupe de 10 aphasiques moteurs permet de dégager 3 groupes de tâches en

fonction des scores recueillis. Il se dégage quelques constantes dans ces données.

Dans les tâches de traitement élémentaires du nombre, le *comptage est très altéré par rapport au dénombrement*. Les 6 transcodages entre code digital et verbal sont échoués par le plus grand nombre, et la *survenue d'erreurs syntaxiques* est une constante. Le transcodage arabe-orthographique est celui où est relevé le plus d'erreurs, et où les erreurs syntaxiques surviennent le plus systématiquement *(effet de format).* Quand intervient le code phonologique, le nombre de syllabes peut clairement influer sur le taux d'erreurs.
Bien que la manipulation de codes numériques soit déficitaire, beaucoup d'aphasiques peuvent comparer deux nombres ou les situer sur une échelle graduée, suggérant que *la compréhension des quantités impliquées est intacte.*

Dans les traitements arithmétiques, *l'approximation du résultat d'opérations complexes est deux fois mieux réussie* que leur calcul exact, et d'autres épreuves indiquent que les capacités d'estimation sont relativement préservées. D'autre part, il existe des dissociations à valeur générale : *l'addition est relativement préservée* (55% de taux de réussite en calcul exact simple), surtout par rapport à la multiplication, pour laquelle on enregistre moitié moins de bonnes réponses avec des temps de latence qui sont multipliés par trois.

C'est pour mieux comprendre la nature de ces dissociations entre opérations que nous avons instauré le chronométrage des temps de réponses. Nos résultats suggèrent que les résultats en multiplication ne sont pas fournis par l'intermédiaire de tables, mais par des *stratégies compensatoires* qui consistent à convertir les produits en additions répétées.

Il apparaît que l'échec en multiplication, plus que toute autre opération, soit directement lié aux déficits langagiers. Ces derniers peuvent particulièrement influer sur les taux de réussite de toutes les *tâches numériques qui appellent une forme symbolique exacte*, à plus forte raison si le format est verbal. En revanche, l'aphasie motrice semble avoir une influence secondaire sur *la compréhension de concepts numériques et arithmétiques qui mettent en jeu des formats analogiques et visuo-spatiaux moins précis.*

En l'espace d'une décennie, les connaissances sur les relations qu'entretiennent les représentations numériques avec différentes structures cérébrales ont beaucoup évolué. Il semble que *le sulcus intrapariétal* soit le siège de représentations de quantités qui ont un haut degré de généralité dans le règne animal.
Récemment, Butterworth[66] écrivait que :

« L'aptitude mathématique (...) résulte de l'intégration de deux circuits neuronaux non numériques du cerveau : le lobe frontal gauche, qui contrôle les représentations linguistiques des valeurs numériques exactes, et les lobes pariétaux, qui contrôlent les représentations visuo-spatiales de quantités approximatives. »

Le tableau sémiologique que nous avons dressé tend à le confirmer.

[66] Butterworth, B., « A head for figures », *Science*, **284**, 928–929 (1999).

BIBLIOGRAPHIE

ARTICLES

- Antell, S.E. & Keating, D.P., « Perception of numerical invariance in neonates », *Child Development*, **54**, 695-701 (1983).
- Ashcraft, M.H., Stazyk E.H., « Mental addition: test of three verification models », *Memory and Cognition*, **9**, 185–196 (1981).
- Basso, A., Burgio, F. & Caporali, A., « Acalculia, aphasia and spatial disorders in left and right brain- damaged patients », *Cortex*, **36**, 265-280 (2000).
- Bijelbac-Babic, R. & al., « How do four-day-old infants categorize multisyllabic utterances », *Developmental Psychology,* **29**, 711-721(1991).
- Boysen, S. T. & Berntson, G. G., « Quantity-based interference and symbolic representations in chimpanzee », *J. Exp. Psychol. : Animal Behavior Processes*, **26**, 31-49 (1989).
- Brannon, E. M. & Terrace, H. S., « Representation of the numerosities 1-9 by Rhesus macaques », *J. Exp.Psychol. : Animal Behavior Processes,* **26**,31-49 (2000).
- Brannon, E. M. & Terrace, H. S., «Ordering of the numerosities from 1 to 9 by monkeys » *Science,* **282**, 746 (1998).
- Butterworth, B., « A head for figures », *Science,* **284**, 928–929 (1999).
- Capaldi, E. J. & Miller D. J., « Counting in rats : Its functional significance and the independent cognitive processes that constitute it », *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Processes* **14**, 3 (1988).
- Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P.F., Dehaene, S., « Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing », *J. Cognit. Neurosci.*, **11**, 617-630 (1999).
- Cohen, L. & Dehaene, S., « Neglect dyslexia for numbers ? A case report», *Cognitive Neuropsychology,* **8**, 39- 58 (1991).
- Cohen,L. & al., « Number words and number non words : A case of deep dyslexia extending to Arabic numerals», *Brain*, **117**, 267-279 (1994).
- Corbetta & al., « Superior parietal activation (...), *Science (*1995).
- Davis, H. & Albert, M., « Numerical discrimination by rats using sequential auditory-stimuli » *Animal Learning & Behavior,* **14**, 57 (1986).
- Davis, H. & Perusse, R., « Numerical competence in animals : Definitional issues current evidence and a new research agenda », *Behav. Brain Sci.,* **11**, 602 (1988).
- Dehaene, S. & Akhavein, R., « Attention, automaticity, and levels of representation in number processing », *J. Exp. Psychol. : Learning, Memory and Cognition,* **21**, 314-326 (1995).
- Dehaene, S. & Cohen, L., « Dissociable mechanisms of subitizing and counting », *J. Exp. Psychol. : Human Perception and Performance*, **20**, 958-975.
- Delazer, M., Girelli, L. & al., « Numerical skills and aphasia », *Journal of the International Neuropsychological society*, **5**, 213-221 (1999).
- Deloche, G. & Seron, X., « From one to 1 : An analysis of a transcoding process by means of neuropsychological data », *Cognition*, **12**, 119-149 (1982a).
- Deloche, G. & Seron, X., « From three to 3 : A differential analysis of skills in transcoding quantities between patients with Broca's and Wernicke aphasia », *Brain*, **105**, 719-733 (1982b).

- Fulbright, R. & al., « Cerebral activation during multiplication : A functional MR Imaging study of number processing », *American Journal of Neuroradiology*, **21**, 1048-1054 (2000).
- Fuson, K.C. & al, « The acquisition and elaboration of the number word sequence », *Children's logical and mathematical Cognition*, p.32-92 (1982).
- Gallistel, C.R. & Gelman, R., « Preverbal and verbal counting and computation », *Cognition* , **44**, 43-74 (1992).
- Gerstmann J., « Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left agraphia and acalculia », Arch. Neurol. Psychiat., **44**, 398–408 (1940).
- Hécaen, H., Angelergues, R. & Houillier S., « Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétrorolandiques : Approche statistique du problème », *Revue Neurologique*, **105**, 85-103 (1961).
- Henschen, S.E., « Über Sprach- Musik- und Rechenmechanismen und ihre Lokalisationen im Grosshirn », *Z. Ges. Neurol. Psychiat.*, **52**, 273–98 (1919).
- Hittmair-Delazer, M., Semenza, C. & Denes F., « Concepts and facts in calculation », *Brain,* **117**, 715-728 (1994).
- Honig, W. K. andStewart, K. E., *Animal Learn. Behav.* **17**, 134 (1989). Pepperberg, I., *Ethology* **75**, 137 (1987).
- Kawamichi & al., « Temporal structure (...) », *Neuroreport*, 1998.
- Koechlin E, Basso G, Pietrini P, Panzer S, Grafman J., « The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition », *Nature*, **399**, 148–51(1999).
- Koechlin, E., Dehaene, S. & al, « Numerical transformations in five-month-old human infants », *Mathematical Cognition*, 3, 89-104 (1997).
- Lechevalier,B. & al, « Aphasies et langages pathologiques », *Editions techniques- Encycl.Méd.Chir. (Paris, France), Neurologie*, 17-018-L-10 (1994).
- LeFevre J.A., Morris, J., « More on the relation between division and multiplication in simple arithmetic : evidence for mediation of division solutions via multiplication », *Memory and Cognition*, **27**(5),803-812 (1999).
- LeFevre, J.A. & al, « Selection of procedures in mental addition : Reassessing the problem-size effect in adults », *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition,* **22**(1), 216-230 (1996b).
- LeFevre, J.A. & al,« Multiple route to solution of single-digit multiplication problems », *Journal of Experimental Psychology : General*, **125** (3), 284-306 (1996a).
- Martin, H. & Fischer, P., D., « Number processing induces spatial performance biases », *Neurology*, **57**, 822-826 (2001).
- Mitchell, R. W. & al., « Discriminative responding of a dolphin (Tursiops truncatus) to differentially rewarded stimuli », *J. Comp. Psychol.*, **99**, 218 (1985).
- Moore, D., Benenson, J. & al, « Effect of auditory numerical information on infants looking behavior : Contradictory evidence », *Developmental Psychology,* **23**, 665-670 (1987),
- Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X., De Volder, A., « Neuroanatomical substrates of Arabic number processing, numerical comparison and simple addition: A PET study », *J. Cognit. Neurosci.*, **12**, 461-479 (2000).
- Power,R.J.D. & Longuet-Higgins, F.R.D., « Learning to count : A computational model of language acquisition », *Proceedings of the Royal Society of London*, **B200**, 391-417 (1978).
- Seron, X. & Deloche, G., « From 2 to two : An analysis of a transcoding by means of neuropsychological evidence », *Journal of Psycholinguistic Research*, **13**, 215-235 (1984).

- Seron, X. & Deloche, G., « From 4 to four : A supplement to" From three to 3" », *Brain*, **106**, 735-744 (1983).
- Simon, T.J. & al., « Do infants understand simple arithmetic ? A replication of Wynn (1992) », *Cognitive Development*, **10**, 253-269 (1995).
- Sophian, C. & Adams, N., « Infants' understanding of numerical transformations », *British Journal of Developmental Psychology,* **5**, 257-264 (1987).
- Stanescu-Cosson, R. & al. « Understanding dissociations in dyscalculia : A brain imaging study of the impact of the number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation », *Brain*, 2000, **123**, 2240-2255.
- Starkey, P., Cooper, R.G., « Perception of numbers by human infants », *Science,* **210**, 1033 (1980).
- Takayama, Y., Sugishita, M., Akiguchi, I., & Kimura, J. , « Isolated acalculia due to left parietal lesion. », *Archives of Neurology,* **51**, p.286–291(1994)
- Wynn, K., « Addition and substraction by human infants », *Nature,* **358**, 749-750 (1992).
- Xu, F. & Spelke, E.S., « Large number of discrimination in 6-month-old infants », *Cognition,* **74**(1), B1-B11 (2000)

OUVRAGES DE REFERENCE

- Dolle, J.M., *Pour comprendre Piaget,* Toulouse : Privat (1974).
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B., Mangun, G.R., *Neurosciences cognitives : La biologie de l'esprit*, Bruxelles : De Boeck Université (2001).
- Gelman, R. & Gallistel, C. R., *The Child's Understanding of Number*, Cambridge : Harvard Univ. Press, MA (1978).
- Pesenti, M., Seron, X., Eds., *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres,* Marseille : Solal (2000).
- Piaget, J., *The Child's Conception of Number*, London : Routledge & Kegan Paul (1952).
- Rondal, A., Seron, X., Dirs., *Troubles du langage : Bases théoriques et rééducation,* Sprimont : Mardaga (1999).

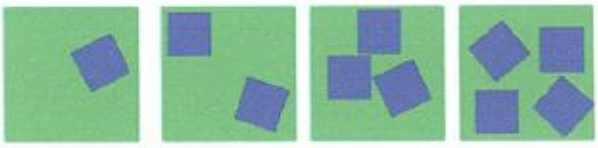
SITES INTERNET CONSULTES

http://cercor.oupjournals.org
http://jocn.mitpress.org
http://brain.oupjournals.org
http://www.sciencemag.org
http://www.ncbi.nlm.nih.gov

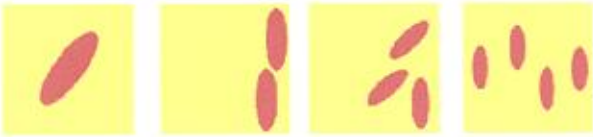
ANNEXES

PARTIE A :
Conception des exemplaires utilisés en phase 1.
(extrait et traduit de Brannon & Terrace (1998))

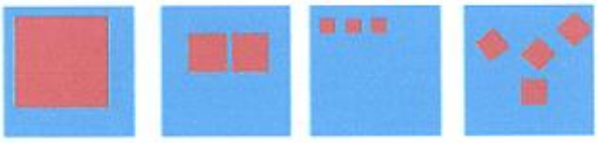
Taille égale



Surface cumulée égale



Taille aléatoire



Clip art

Clip arts mélangés

Taille et forme aléatoires

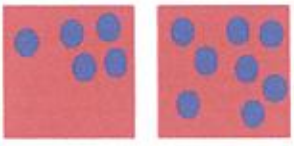
Taille, forme et couleur aléatoires

PARTIE B :
Conception des exemplaires utilisés en phase 2.
(Extrait et traduit de Brannon & Terrace(1998))

La plus petite numérosité a :

1- Une plus grande surface

2- Une plus petite surface



ANNEXE 1

ARCHITECTURE TRIMODULAIRE POUR LE CALCUL ET LE TRAITEMENT DU NOMBRE

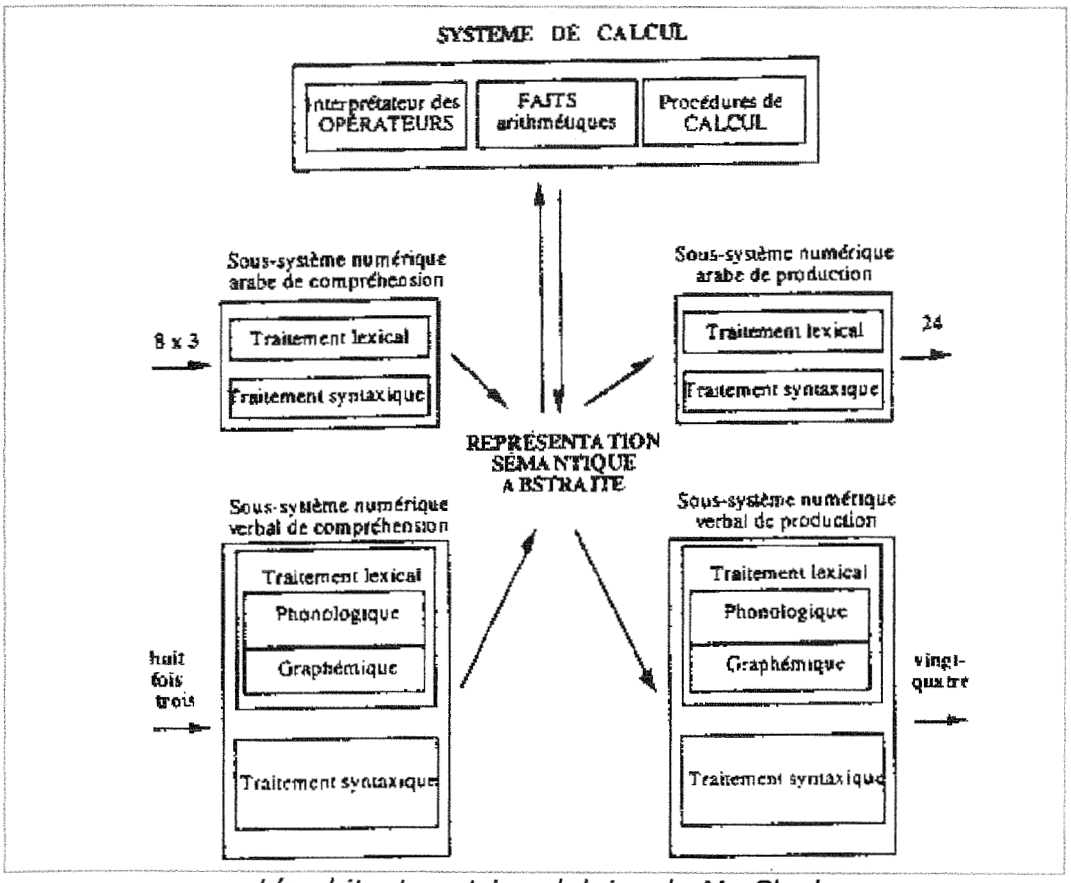
(MODELE DE MC CLOSKEY, 1992)

En étudiant les performances d'un grand nombre de patients cérébrolésés, les auteurs dégagent trois composantes fonctionnellement distinctes recouvrant :

❶ **Les mécanismes de compréhension des numéraux** : ils visent à convertir un input numérique en sa représentation sémantique abstraite grâce à des traitements lexicaux (identification des primitives lexicales) et syntaxiques (identification et interprétation des relations d'ordre entre les différents éléments) spécifiques au système de notation d'entrée (code arabe ou verbal).

❷**Les mécanismes de production des numéraux**, dont l'organisation est symétrique à ceux intervenant pour la compréhension.

❸**Le système de calcul** : il permet d'interpréter le sens des opérateurs arithmétiques (i.e. +, -, × et ÷), de mobiliser les faits arithmétiques stockés en mémoire (par exemple : les tables de multiplication) et enfin d'appliquer les procédures de calcul adéquates (par exemple : les algorithmes de résolution d'opération, l'agencement spatial des données, la gestion des retenues, etc.).
Ces trois modules, fonctionnellement indépendants, ne sont reliés entre eux par aucune voie directe. En d'autres termes, il est impossible de transiter d'un module à l'autre sans passer par une **représentation sémantique centrale**, quelle que soit l'activité numérique envisagée.



L'architecture trimodulaire de Mc Closkey.

ANNEXE 2

Auteurs	Opération(s) préservée(s)	Opération(s) déficitaire(s)	Autres déficits
Sokol et al. (1991)	Addition Soustraction	Multiplication	Fluence verbale sévèrement altérée
Dagenbach & McCloskey (1992)	Soustraction	Addition	Aphasie Production de mots isolés
Pesenti et al. (1994)	Soustraction	Addition Multiplication	Démence débutante précoce
Hittmair-Delazer et al. (1994)	Addition Soustraction	Multiplication Division	Aphasie
Dehaene & Cohen (1997)	Addition Soustraction	Multiplication Division	Fluence verbale réduite
Cipolotti & de Lacy-Costello (1995)	Addition Multiplication	Soustraction Division	Difficultés motrices et langagières
Girelli et al. (1996)	Addition Soustraction	Multiplication	Aphasie
Delazer & Benke (1997)	Multiplication Soustraction	Addition	Syndrome de Gerstmann
Dehaene & Cohen (1997)	Addition Multiplication	Division Soustraction	Syndrome de Gerstmann

Exemples de dissociations entre opérations arithmétiques chez le cérébrolésé (extrait de Pesenti, M., Seron, X., Eds., *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, Marseille : Solal (2000).

ANNEXE 3

NEUROIMAGERIE FONCTIONNELLE :

Il existe à l'heure actuelle deux grands groupes de techniques :

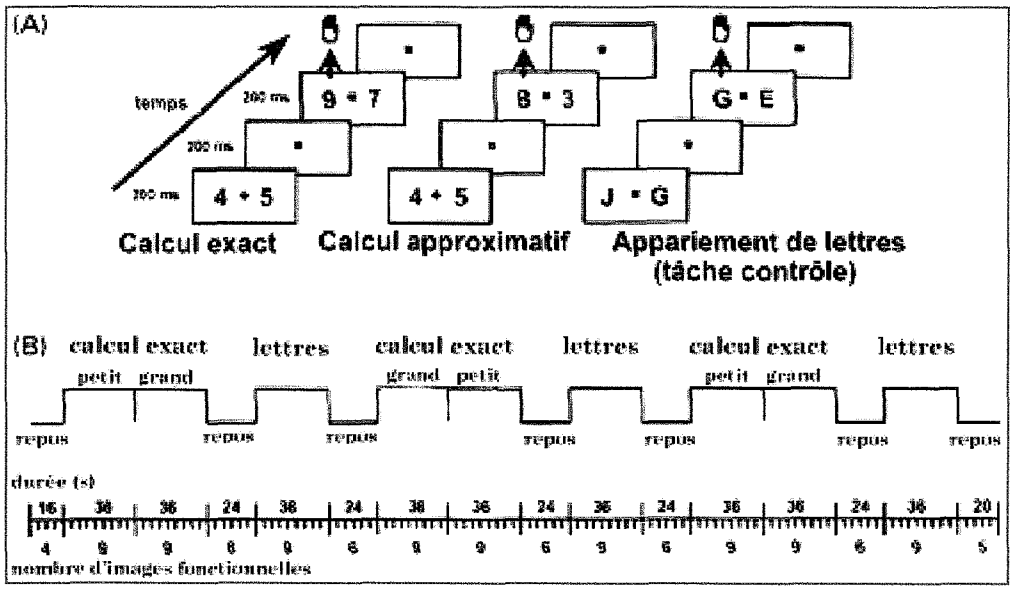
❑ ***les techniques électrophysiologiques :***
Il s'agit surtout de *L'ELECTROENCEPHALOGRAMME (ou EEG).* Le principe est de mesurer à la surface du crâne les potentiels électriques caractérisant l'influx nerveux grâce à des électrodes disposées sur le cuir chevelu. Les potentiels recueillis se situent entre 10 et 100 millivolts et lorsqu'ils ne sont pas spontanés, c'est à dire quand ils sont liés à l'exécution d'une tâche, ils sont dits évoqués. Cette technique offre une très bonne résolution temporelle, de l'ordre de la milliseconde, ce qui permet de visualiser la succession des activités cérébrales dans le temps. En revanche, ces mesures entre électrodes n'offrent qu'une résolution spatiale médiocre et ne permettent pas de localiser l'origine des courants enregistrés.

❑ ***Les techniques hémodynamiques*** constituent des méthodes indirectes qui visent à étudier les conséquences d'une activité cérébrale via les variations de débit sanguin (plus une zone du cerveau est activée, plus elle nécessite de l'énergie, et donc plus le débit sanguin local est important). Nous parlerons des deux techniques principales : la tomographie par émission de positrons (TEP) et l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique (IRMf).

La TEP consiste en l'injection dans le système vasculaire du patient d'un marqueur radioactif ou traceur (de l'oxygène de masse 15 qui émet des positrons détectables). Puis, au moyen d'une caméra à positrons, on visualise les augmentations locales de débit sanguin, signes d'une activité cérébrale locale. Sa résolution temporelle demeure relativement faible, de l'ordre de la minute, mais la résolution spatiale des images 3D atteint 4 millimètres.

La deuxième technique, celle de résonance magnétique nucléaire (IRMf), exploite une propriété physique de base du noyau de certains atomes comme l'hydrogène, dont le noyau est le proton : sous un fort champ magnétique, ces noyaux peuvent absorber des ondes radio. Or, au cours de l'activité cérébrale, les composantes chimiques du sang qui permettent les échanges d'énergie (notamment l'hémoglobine) subissent des modifications. Certains de leurs états moléculaires ont des propriétés magnétiques qui permettent de repérer les aires cérébrales actives sans avoir besoin de recourir à des injections de traceurs radioactifs, comme dans la TEP. La résolution spatiale est très élevée (moins d'un millimètre), et donne des localisations extrêmement fines. La résolution temporelle (environ une seconde) est toutefois insuffisante pour l'étude des fonctions cérébrales qui se déroulent en général à l'échelle de la milliseconde.

ANNEXE 4



Dispositif expérimental utilisé dans l'étude de Stanescu-Cosson & al.(2000)

Légende :

(A) : Les sujets fixent l'écran où sont projetés successivement consigne, stimuli (opérations ou lettres) et choix de réponses. Ils sélectionnent en fin de séquence une réponse en appuyant sur un bouton.

(B) : Exemple d'une séquence utilisée. Quatre séquences de ce type sont présentées en ordre semi aléatoire : 2 séquences alternent calcul exact et appariement de lettres, 2 autres alternent calcul approximatif et appariement de lettres.

ANNEXE 5

	« Petits » problèmes					« Grands problèmes »			
	Choix exacts		Choix approximatifs			Choix exacts		Choix approximatifs	
1 + 2	3	4	4	8	*5 + 6*	11	13	10	18
1 + 3	4	2	3	8	*5 + 7*	12	14	11	19
1 + 4	5	3	6	2	*5 + 8*	13	11	12	17
1 + 5	6	4	7	9	*5 + 9*	14	16	15	11
2 + 3	5	7	4	8	*6 + 7*	13	11	12	18
2 + 4	6	8	5	9	*6 + 8*	14	12	13	19
2 + 5	7	9	8	3	*6 + 9*	15	17	14	10
3 + 4	7	5	8	2	*7 + 8*	15	13	16	10
3 + 5	8	6	7	2	*7 + 9*	16	15	15	11
4 + 5	9	7	8	3	*8 + 9*	17	15	18	11

Liste des problèmes arithmétiques utilisés
dans l'étude de Stanescu-Cosson & al.(2000)

ANNEXE 6

Epreuve 6A du test EC301 (les consignes et les items sont identiques entre épreuve 6A et 6B ; pour la consigne voir ANNEXE 8)

ANNEXE 7

FEUILLE DE NOTATION

VI - CALCUL MENTAL(*) — *A : CALCUL MENTAL ORAL*

STIMULUS	REPONSES PRODUITES Orales	REPONSES PRODUITES Autres (préciser)	REPONSES ERRONEES	SCORES(**)
1. ADDITION				
• CINQ PLUS HUIT (13)				/0/1/2/
• NEUF PLUS SEPT (16)				/0/1/2/
2. MULTIPLICATION				
• SEPT FOIS QUATRE (28)				/0/1/2/
• TROIS FOIS HUIT (24)				/0/1/2/
3. SOUSTRACTION				
• DIX SEPT MOINS CINQ (12)				/0/1/2/
• QUATORZE MOINS SIX (8)				/0/1/2/
4. DIVISION				
• DIX-HUIT DIVISE PAR TROIS (6)				/0/1/2/
• SEIZE DIVISE PAR DEUX (8)				/0/1/2/

(*) Noter d'un R en cas de répétition de l'énoncé par l'examinateur ; attention, toujours répéter toute l'opération
Noter toutes les réponses du sujet, y compris les corrections
Si le sujet ne peut répondre par oral, noter son mode de réponse (écrit, sur ses doigts...)

(**) Coter 1 toute réponse correcte fournie soit après répétition de l'item par l'examinateur, soit dans un autre code que l'oral

VI - CALCUL MENTAL : *A : CALCUL MENTAL ORAL*
TOTAL : /16

Epreuve 6B : Consignes (les items sont ceux de l'épreuve 6A présentés en code arabe)

ANNEXE 8

CONSIGNES

VI - CALCUL MENTAL ***B : CALCUL MENTAL ECRIT***

- Donner au sujet la feuille-réponse 12

- Consigne : "VOUS DEVEZ EFFECTUER CES OPERATIONS. ALLEZ-Y"

- A chaque changement d'opération, le signaler au sujet en disant : "ATTENTION, C'EST CETTE OPERATION QU'IL FAUT FAIRE" (Montrer le symbole de l'opération).

- Si le sujet ne peut répondre par écrit, lui suggérer de donner sa réponse par oral ou en montrant sur ses doigts

ANNEXE 9

Exemples de numéraux à transcoder (épreuve 3C de l'EC301, lecture du code arabe)

FEUILLE DE NOTATION

III - TRANCODAGES — *C : LECTURE DU CODE DIGITAL*

C - LECTURE DU CODE DIGITAL(*)

Numéro	Stimulus	Réponse produite erronée (en mots)	SCORE
1	1 360		/0/ /2/
2	4 015		/0/ /2/
3	900 000		/0/ /2/
4	113		/0/ /2/
5	281		/0/ /2/
6	35 617		/0/ /2/

(*) Noter les pauses par (...)
Noter les retours en arrière et autres particularités
Noter tout ce que dit le sujet

III - TRANSCODAGES : *C : LECTURE DU CODE DIGITAL*	
TOTAL :	/ 12

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

En mémoire d'Erna BYNEN :

« (...) daβ Ich zu Dir, in den Himmel komm'. »

BYNEN Grégory.
ETUDE SEMIOLOGIQUE DES TROUBLES DU CALCUL ET DU TRAITEMENT DES NOMBRES CHEZ L'APHASIQUE MOTEUR.
MEMOIRE D'ORTHOPHONIE – NANCY (2002).

RESUME :
Ce mémoire tente de dresser un tableau des troubles numériques chez l'aphasique moteur.
Les données théoriques envisagent successivement le nombre et le calcul. Les concepts de base (cardinalité, ordinalité) que recouvre un nombre sont explorés au travers d'expériences chez l'animal et le nourrisson ; ces travaux suggèrent qu'un « sens du nombre » rudimentaire existe en l'absence de langage. A côté des concepts sont ensuite décrits les symboles du nombre. Nous montrons que le code verbal et le code arabe représentent différemment les quantités, et que le transit entre ces deux notations (transcodage) est source d'erreurs syntaxiques chez l'aphasique moteur, en particulier dans la lecture du code arabe (effet de format). Ensuite, une revue de la littérature sur le calcul fait apparaître chez le cérébrolésé des dissociations entre concepts et faits arithmétiques, et entre calcul exact et approximatif ; depuis peu, la neuroimagerie fonctionnelle suggère l'existence d'un réseau pariétal bilatéral pour l'approximation et un réseau frontal gauche incluant l'aire de Broca pour le calcul exact. Parce qu'il englobe les divers aspects numériques et arithmétiques évoqués, l'EC301 est choisi pour tester une population de dix aphasiques moteurs. Dans les résultats, nous retrouvons les erreurs syntaxiques et l'effet de format dans les transcodages, et une relative préservation des tâches d'approximation par rapport au calcul exact. Dans le calcul exact simple, les multiplications sont la plus grande source d'échec ; le chronométrage des temps de réponses suggère même que les produits corrects ne sont fournis que par le biais de stratégies compensatoires indirectes. Finalement, tous ces résultats sont discutés, interprétés et mis en perspective au travers du « Triple Code » , le modèle dominant en neuropsychologie du calcul.

MOTS CLES :

- Acalculie
- Aphasie
- Mathématiques
- Neurologie
- Transcodage numérique

JURY :

- Président : Professeur Jean-Marie ANDRE.
- Membres : Nathalie MORIN, orthophoniste ;
  Lydie MOREL, orthophoniste ;
  Docteur Jean-Marie BEIS.

DATE DE SOUTENANCE : 25 juin 2002.