Validation d'un test écologique de calcul (B.E.N.Q.) auprès de patients adultes cérébrolésés

Marlène Cocquelet-Bunting

▶ **To cite this version:**

Marlène Cocquelet-Bunting. Validation d'un test écologique de calcul (B.E.N.Q.) auprès de patients adultes cérébrolésés. Sciences cognitives. 2015. dumas-01212356

HAL Id: dumas-01212356

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01212356

Submitted on 26 Oct 2015

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

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

ACADÉMIE DE PARIS

UNIVERSITÉ PARIS VI PIERRE et MARIE CURIE

MÉMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

VALIDATION D'UN TEST ÉCOLOGIQUE DE CALCUL (B.E.N.Q.) AUPRÈS DE PATIENTS ADULTES CÉRÉBROLÉSÉS

Directrices de mémoire

Cécile PRÉVOST – Marie VILLAIN

Année universitaire 2014-2015

COCQUELET-BUNTING Marlène

Née le 26/06/1971

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement Cécile Tarabon-Prévost et Marie Villain, mes Directrices de mémoire, pour avoir bien voulu m'encadrer sur ce projet, pour le temps qu'elles m'ont accordé tout au long de cette année, et pour le partage de leur expérience.

Je remercie le Pr Pascale Pradat-Diehl qui m'a accueillie dans son service à la Pitié Salpêtrière, ainsi que toute l'équipe d'orthophonistes de Catherine Tessier ; je remercie le Pr Philippe Azouvi à Garches et l'équipe de Nicole Marlier, ainsi que le Pr Patrick Dehail et le Dr Bertrand Glize à Bordeaux pour nous avoir permis de rencontrer leurs patients.

Merci à Viviane Issoulié, mon rapporteur, pour sa relecture attentive.

Merci à tous les patients qui ont accepté de participer à ce mémoire, à la Pitié Salpêtrière, à Garches, à Bordeaux, mais aussi à tous ceux, petits et grands, que j'ai pu rencontrer lors de ces années d'études ; leur courage et leur sourire m'ont beaucoup enrichie.

Un énorme merci à toutes mes maîtres de stage pendant ces 3 dernières années, pour leur disponibilité, leur bienveillance et tout ce qu'elles m'ont transmis : Flore Cavé, Brigitte Illouz, Marie-Ève Dumas, Pascale Torchin, Julie Hurel, Laurence Bonete, Anne-Claire Tissier, Caroline Monnard, Isabelle Tanet-Mory.

Et many thanks à ma Dream-Team pour son soutien sans faille au quotidien : Mike, Tom, Emily et Anna, merci pour vos encouragements et votre patience …

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

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

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **1**

CHAPITRE I – PARTIE THÉORIQUE **2**

I- Modélisation neuropsychologique des troubles du traitement du nombre **2**

1.1. Rapide historique des classifications de l'acalculie 2

1.1.1. Henschen (1920) 2

1.1.2. Gerstman (1924) 2

1.1.3. Berger (1926) 2

1.1.4. Hécan (1961) 3

1.1.5. Ardila et Rosselli (1990, 2002) 3

1.2. Principaux modèles neuropsychologiques du traitement du nombre 3

1.2.1. Deloche et Séron : transcodage asémantique (1982) 4

1.2.2. McCloskey : modèle sémantique de transcodage (1985) 6

1.2.3. Dehaene et Cohen : modèle du Triple code (1992, 1995) 8

1.2.4. Barrouillet : un modèle transverse, ADAPT (2004) 9

II- Étude des relations anatomo-cliniques dans les troubles du calcul **9**

2.1. Ce que l'on savait jusqu'à présent 9

2.2. Les connaissances admises 10

2.3. Le modèle anatomo-fonctionnel du Triple Code 11

2.4. Des amendements récents au modèle du Triple code 14

2.4.1. Arsalidou (2011) 14

2.4.2. Andres (2011) 16

2.4.3. Cappelletti et coll. (2012) 17

2.4.4. Vogel et coll. (2015) 18

2.5. Un focus sur le rôle de l'hémisphère « mineur » 18

2.5.1. Yu et coll. (2011) 18

2.5.2. Rosenberg (2011) 18

2.5.3. Della Puppa (2013) 19

2.5.4. Price (2013) 19

2.5.5. Benavides (2014) 20

III- Les batteries d'évaluation de l'acalculie chez les patients cérébrolésés.....21

3.1. Batteries classiques d'évaluation de l'acalculie 21

3.1.1. EC301 (Deloche et Séron, 1989 et 1991).....21

3.1.2. TLC2 (Bout-Forestier et coll. 2004) 21

3.1.3. ECAN (Auzou, normalisation en 2012).....22

3.2. Développement des batteries écologiques.....22

3.2.1. La Classification internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé 22

3.2.2. Les évaluations écologiques chez les patients cérébrolésés.....24

3.2.3. Champs d'application des évaluations écologiques 25

3.2.4. Présentation des tests écologiques existants sur l'acalculie 26

CHAPITRE II – PARTIE PRATIQUE

I- Problématique.....30

II- Présentation des hypothèses et objectifs de travail 30

2.1. Objectifs 30

2.2. Hypothèses 30

III- Méthodologie 31

3.1. Population étudiée 31

3.2. Protocole de passation.....31

3.2.1. Questionnaire médical.....31

3.2.2. Questionnaire sur les compétences numériques.....32

IV- Résultats.....34

4.1. Caractéristiques de l'échantillon 34

4.2. Description des résultats d'ensemble du questionnaire médical 35

4.2.1. Évaluations du langage et de la communication 35

4.2.2. Tests neuropsychologiques....36
4.2.3. Évaluations fonctionnelles....36
4.2.4. Auto-évaluations....36
4.3. Validité de construit de la B.E.N.Q.....36
4.4. Analyse quantitative des résultats à la B.E.N.Q.....37
4.4.1. Analyse des scores à la B.E.N.Q. 37
4.4.2. Analyse des temps à la B.E.N.Q....39
4.4.3. Analyse par patients et profils à la B.E.N.Q.....40
4.4.4. Analyse par processus B.E.N.Q. 42
4.5. Analyse quantitative des résultats de l'ECAN en temps et scores 42
4.5.1. Analyse des scores à l'ECAN....42
4.5.2. Analyse des temps à l'ECAN 43
4.5.3. Analyse par profils à l'ECAN 43
4.6. Étude des liens entre la B.E.N.Q. et les autres évaluations 44
4.6.1. Analyse des corrélations entre la B.E.N.Q. et l'ECAN....44
4.6.2. Analyse des corrélations entre la B.E.N.Q. et les autres tests 44
V- Étude de cas....46
5.1. Présentation du patient 46
5.2. Analyse de ses résultats aux différents bilans 47
5.3. Axes de prise en charge....50
DISCUSSION 52
1. Discussion des résultats obtenus 52
2. Réponses aux hypothèses 54
3. Critiques et perspectives de notre étude 56
CONCLUSION....58
BIBLIOGRAPHIE
ANNEXES

GLOSSAIRE

ADAPT	A Developmental Asemantic Procedural Transcoding model
AIC	Accident Ischémique Cérébral
AVC	Accident Vasculaire Cérébral
BREF	Batterie Rapide d'Évaluation Frontale
BDAE	Boston Diagnostic Aphasia Examination
B.E.N.Q.	Batterie d'Évaluation du Nombre au Quotidien
CIDIH	Classification Internationale des Déficiences, Incapacités et Handicaps
CIF	Classification du Fonctionnement, du handicap et de la santé
CLD	Cérébrolésés droits
CLDaN	Cérébrolésés droits avec négligence
CLDsN	Cérébrolésés droits sans négligence
CLG	Cérébrolésés gauches
ECAN	Évaluation Clinique des Aptitudes Numériques
ECVB	Échelle de Communication Verbale de Bordeaux
ET	Écart-type
EVA	Échelle d'Évaluation Analogique
HIPS	Horizontal Intra-Pariétal Sulcus
IRMf	Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle
MMSE	Mini Mental State Evaluation
MOCA	Montreal Cognitive Assessment
NADL	Numeral Activities of Daily Living
NPC	Number Processing and Calculation
NSC	Niveau socio-culturel
NSU	Négligence Spatiale Unilatérale
PSPL	Lobule pariétal postéro-supérieur
SNARC	Spatial Numerical Association of Response Code
TLC2	Test Lillois de Calcul 2
TC	Traumatisme Crânien

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 Transcodage asémantique de Deloche et Séron

Figure 2 Représentation du modèle sémantique de transcodage de McCloskey

Figure 3 Modèle anatomo-fonctionnel, tiré de *La Bosse des maths, 10 ans après*, S. Dehaene, p.216

Figure 4 Localisation anatomique des principales aires du calcul selon S. Dehaene

Figure 5 Caractéristiques de l'échantillon en sexe, âge, NSC

Figure 6 Indices de discrimination des épreuves de la B.E.N.Q.

Figure 7 Moyennes des Z-scores des patients par épreuves de la B.E.N.Q.

Tableau 1 B.E.N.Q. – Présentation des épreuves

Tableau 2 Caractéristiques des 31 patients de l'échantillon

Tableau 3 Scores moyens à la B.E.N.Q.

Tableau 4 Scores et Z-scores par subtest à la B.E.N.Q.

Tableau 5 Temps moyens à la B.E.N.Q.

Tableau 6 Temps et Z-scores par subtests à la B.E.N.Q.

Tableau 7 Scores et temps moyens à la B.E.N.Q. selon la localisation lésionnelle

Tableau 8 Scores moyens à la B.E.N.Q. par subtests selon la localisation lésionnelle

Tableau 9 Scores et temps moyens à la B.E.N.Q. selon le type de lésion

Tableau 10 Scores des patients par item à l'ECAN

Tableau 11 Temps des patients par item à l'ECAN

Tableau 12 Scores et temps moyens à l'ECAN selon la localisation lésionnelle

Tableau 13 Scores et temps moyens à l'ECAN selon le type de lésion

Tableau 14 Scores et temps par subtests du patient M. G. à la B.E.N.Q. (1ère évaluation et ligne de base pré-thérapeutique)

INTRODUCTION

L'évaluation des patients victimes d'un AVC se fait, au niveau cognitif, encore essentiellement sur le langage et les fonctions exécutives. Or, lorsque ces patients rejoignent leur domicile, ils se retrouvent aussi confrontés aux chiffres, présents partout dans leur vie quotidienne (pour faire les courses, prendre le bus, rédiger un chèque, composer un numéro de téléphone).

Il est donc indispensable de prendre en compte ces déficits vis-à-vis des nombres, et de les évaluer dans un but de prise en charge. Il existe peu de batteries d'évaluation des nombres. Les bilans existants sont très analytiques et de ce fait assez éloignés des préoccupations quotidiennes des patients. Or les soins de suite prennent de plus en plus en compte la dimension écologique des rééducations, qui doivent permettre au patient de retrouver une vie la plus proche de celle qui était la sienne auparavant, en se préoccupant de ses activités, de son niveau d'études, de ses habitudes antérieures.

Une version initiale de la Batterie d'Évaluation du Nombre au Quotidien a été créée en 2007 par Breille et Giard, avec cet objectif écologique. L'outil a été remanié en 2010 par Villain et normalisé en 2012 par Bernard et Hurteaux (sous l'appellation BenqR^2). Cette dernière version a été éditée en 2014 chez Ortho éditions sous le nom de « B.E.N.Q. ». Le présent mémoire fait suite à ces travaux, avec pour objectifs de valider la batterie auprès d'un plus grand nombre de patients cérébrolésés, et de vérifier qu'elle est assez fine pour permettre de distinguer des profils suivant la localisation lésionnelle.

Dans une première partie, je ferai un rappel des différentes classifications de l'acalculie. J'exposerai ensuite les connaissances actuelles sur les corrélations anatomo-fonctionnelles dans les troubles du calcul, ainsi que quelques découvertes récentes sur le développement de la spécialisation hémisphérique dans les compétences numériques. Je présenterai ensuite les batteries d'évaluation des compétences vis-à-vis des nombres existant actuellement.

Dans une seconde partie, j'exposerai les résultats de l'expérimentation que j'ai menée, à partir des données des études de validation précédentes et des résultats obtenus après de nouveaux patients. Enfin, je présenterai une analyse des données obtenues.

La discussion viendra conclure mon travail en mettant en exergue les points forts de la B.E.N.Q. et les aspects qui pourraient nécessiter des améliorations ou expérimentations complémentaires.

Chapitre I
PARTIE THÉORIQUE

I. Modélisations des troubles du traitement du nombre

1.1.Rapide historique des classifications de l'acalculie

Les classifications des troubles du calcul ont évolué en parallèle de celles de l'aphasie. Depuis le début du XXè siècle, plusieurs auteurs ont proposé la leur.

1.1.1. Henschen (1920)

Henschen est le premier à différencier une incapacité concernant les nombres d'une incapacité langagière. Il identifie trois grands types de déficits constituant cette « acalculie » : l'aphasie pour les chiffres (trouble de la production orale des chiffres), l'agraphie numérique (trouble de l'écriture des chiffres) et la cécité numérique (trouble de la lecture des chiffres). Henschen remarque ces dissociations en notant que chacun de ces déficits peut se retrouver indépendamment des autres chez les patients (Henschen 1925)(52) (Séron et coll. 1999)(85) , p.439, 440).

1.1.2. Gerstmann (1924)

Quelques années plus tard, Gerstmann observe les symptômes suivants chez quelques patients : agnosie digitale (trouble de la reconnaissance des doigts), confusion gauche/droite, acalculie et agraphie. Cette tétrade constitue pour lui un syndrome à part entière, qui a beaucoup été étudié et critiqué depuis et qui reste toutefois très rare dans sa version « pure » (Zukic et coll. 2012)(94) (Gerstmann 1957)(46).

1.1.3. Berger (1926)

Berger distingue l'acalculie primaire, appelée également acalculie pure ou anarithmétie, de l'acalculie secondaire. L'acalculie pure serait indépendante de tout autre déficit cognitif. Elle entraine la perte des concepts numériques et une incapacité à comprendre ou à exécuter des calculs simples. L'acalculie secondaire serait liée à des déficits d'autres

fonctions cognitives comme le langage, les capacités visuo-spatiales, la mémoire ou encore les capacités intellectuelles générales (Séron et coll. 2000)(86) (Dobato et coll. 2000)(42). L'existence de l'acalculie primaire en dehors de tout autre déficit a été ensuite été contestée (Collington et coll. 1977)(24).

1.1.4. Hécaen (1961)

Hécaen et son équipe sont à l'origine de la classification moderne. Il identifie trois grands types d'acalculie (Hécaen et coll. 1961)(51) :

- Le groupe des acalculies aphasiques : prédominance des troubles de la lecture et de l'écriture des nombres liés ou non à une alexie ou à une agraphie verbale. On y trouve l'alexie pour les chiffres isolés et l'alexie pour les nombres ;
- Le groupe des acalculies visuo-spatiales, avec entre-autres les troubles correspondant à un non-respect de la position et de l'ordre des chiffres les uns par rapport aux autres, les erreurs spatiales dans la réalisation des opérations écrites ;
- Le groupe de l'anarithmétie, qui correspond aux troubles de la conduite des opérations arithmétiques.

1.1.5. Ardila et Rosselli (1990, 2002)

Cette classification distingue l'acalculie primaire -ou anarithmétie- de différentes acalculies secondaires, résultant de déficits linguistiques (écrits et oraux), de déficits spatiaux, de déficits des fonctions exécutives (troubles de l'attention, persévérations, ou encore perte de la capacité à gérer des concepts mathématiques complexes) (Rosselli et coll. 1989)(79) (Ardila et coll. 1990)(4). En 2002, ces auteurs insistent sur le fait qu'il existe un certain degré de recouvrement entre ces sous-types d'aphasies, en particulier entre les acalculies aphasique, alexique et agraphique (Ardila et coll. 2002)(5).

1.2. Principaux modèles neuropsychologiques du traitement du nombre

Les neuropsychologues ont d'abord travaillé sur des modèles cognitifs tentant d'expliquer les déficits du langage suite à une lésion cérébrale (ex : modèle de Hillis et Caramazza (53). Des auteurs ont ensuite travaillé sur des modèles spécifiques du traitement du calcul, dans les années 80. En 1995, Dehaene et Cohen ont proposé une nouvelle approche, en intégrant la dimension verbale du langage dans leur modèle du Triple code.

Les modèles neuropsychologiques des troubles du calcul au début du XXI siècle tentent de proposer une vision interconnectée du traitement du nombre, incluant les fonctions d'attention, de mémoire de travail et bien sûr la dimension verbale. Ces modèles récents sont destinés à l'étude des troubles chez des patients cérébrolésés mais se veulent aussi de plus en plus applicables à la dyscalculie développementale (ex : ADAPT (Barrouillet et coll. 2004)(11).

1.2.1. Deloche et Séron : transcodage asémantique (1982)

Les auteurs ont élaboré ce premier modèle à partir d'un recensement d'erreurs produites par des patients cérébrolésés lors de l'écriture et la lecture des nombres (Deloche et coll. 1982)(39), c'est-à-dire lors du *passage d'un code à un autre*, alias le « transcodage » (Pesenti et coll. 2000)(68) (Deloche et coll. 1987)(40).
En effet, les processus de transcodage sont utilisés quotidiennement lors de prises en note de numéros de téléphone, de lecture de prix, d'écriture de chèques …Ces processus sont fréquemment altérés dans le cadre de lésions cérébrales, avec des dissociations parfois nettes entre les types d'erreurs, selon le code préservé.

- Deloche et Séron identifient 2 codes : le code verbal (en modalité orale et écrite) et le code arabe (modalité écrite uniquement), tous deux constitués d'une syntaxe et d'un lexique propres.
    - Le code verbal : son lexique est composé de 25 primitives lexicales renvoyant chacune à un cardinal : unités (0 à 9), dizaines (10, 20, 30 etc…), particuliers (11, 12, 13, 14, 5, 16), opérateurs ou multiplicateurs (100, 1000, etc…). La syntaxe est la combinaison de relations additives et/ou multiplicatives (ex : « vingt-et-un » qui signifie « vingt plus un » ou « quatre-vingts » qui signifie « quatre fois vingt », ou « quatre-vingt-dix-neuf » qui signifie « quatre fois vingt plus dix plus neuf »).
    - Le code arabe : il comporte 10 chiffres (0 à 9) permettant de former tous les nombres arabes. La syntaxe repose sur la position du chiffre au sein du nombre, qui en détermine sa valeur.
- La réalisation du transcodage nécessite deux processus : l'étape lexicale suivie de l'étape de transcodage elle-même. On appelle également ce modèle la « théorie des piles » : dans chaque classe (unités de 1 à 9, particuliers de 11 à 16, dizaines de 10 à

90) on a des positions. Chaque chiffre occupe une position dans la pile correspondant à sa classe (Lemer, C. 2003)(60) .

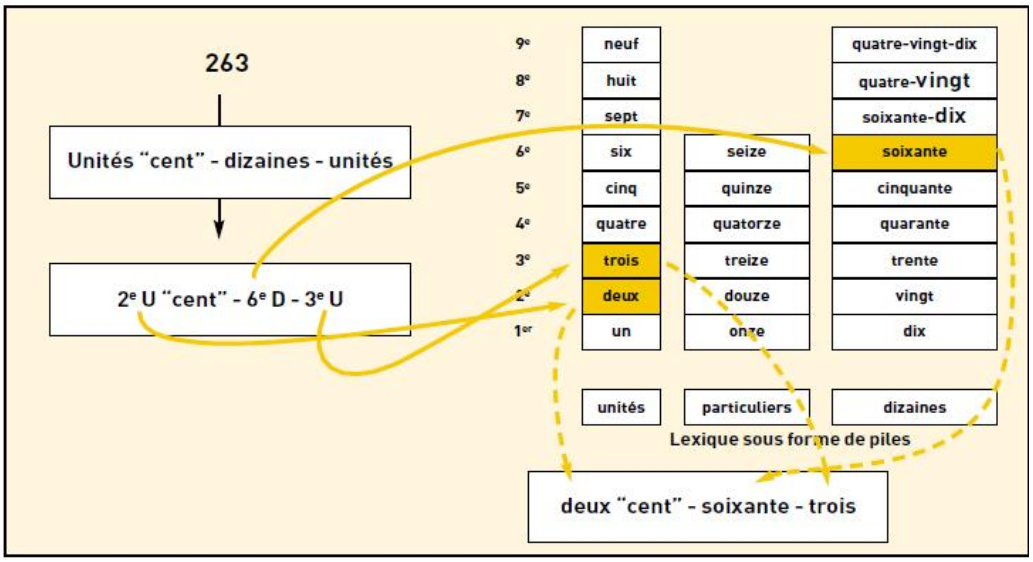


Figure 1 : Transcodage asémantique Deloche et Séron. (Neurologies, Mai 2003, Vol 6. C. Lemer « »Acalculie »)

Quatre processus de transcodage sont décrits dans le modèle :

- Transcodage de numéraux arabes en numéraux verbaux oraux
  « 3 »→ /tRwa/ : par exemple, lecture à haute voix du prix du pain
- Transcodage de numéraux arabes en numéraux verbaux écrits
  « 3 »→ « trois » : par exemple, écriture d'un chèque
- Transcodage de numéraux verbaux oraux en numéraux arabes
  /tRwa/ → « 3 » : par exemple, écriture (ou saisie) d'un numéro de téléphone
- Transcodage de numéraux verbaux écrits en numéraux arabes
  « trois » → « 3 » : par exemple, lors de la résolution de problèmes. Les énoncés comportent souvent des numéraux verbaux écrits alors que les opérations posées exigent les numéraux arabes

Deux autres tâches sont également prises en compte bien que n'étant pas du transcodage à proprement parler (transposition dans une autre modalité), car ne concernant qu'un seul code :

- Transcodage de numéraux verbaux écrits en numéraux verbaux oraux
  « trois » → /tRwa/ : par exemple, lecture d'un acte notarié
- Transcodage de numéraux verbaux oraux en numéraux verbaux écrits
  /tRwa/→« trois »: par exemple, rédaction d'un chèque sous dictée

On peut également ajouter à ces six tâches, 3 tâches de transposition : la répétition de numéraux verbaux oraux, la copie de numéraux arabes ou la copie de numéraux verbaux écrits.

Les deux étapes du transcodage :

- Étape lexicale du transcodage : il s'agit de la décomposition de la chaine numérique en primitives formant le nombre : on se demande quelle est la classe et quelle est la position ;
- Étape de transcodage elle-même : c'est la construction du cadre syntaxique (« frame ») selon les informations de classe et de position des primitives recueillies lors de l'étape précédente, puis son remplissage.

- Les erreurs de transcodage peuvent survenir à chacune de ces étapes et être liées à une erreur lexicale ou une erreur syntaxique (Séron et coll.)(84).

  - Erreurs lexicales : il s'agit d'un mauvais encodage, dû à une erreur de classe alors que la position est correcte (« 13 » encodé « 30 »), ou à une erreur de position dans la même classe (« 6 » encodé « 7 »), à une inversion de mots (« quatre-cent » devient « cent-quatre »), ou à un encodage partiel (« trois-cent » devient « trois »).
  - Erreurs syntaxiques : dans ce cas, l'étape lexicale est préservée. Il peut s'agir d'erreurs de lexicalisation, c'est-à-dire un transcodage mot à mot ne respectant pas le format syntaxique, par exemple : « 45 » produit « 40 5 ». Il peut également s'agir d'un transcodage systématique des séparateurs « cent », « mille » par 1 ou 0, quel que soit leur contexte d'apparition.

Le transcodage est qualifié d'« asémantique » car selon les auteurs, la représentation sémantique du numéral n'a pas besoin d'être activée lors du transcodage. Ce modèle a permis d'expliquer et d'analyser de nombreuses erreurs produites par des patients en distinguant les erreurs de nature lexicale ou de nature syntaxique. Par contre, il n'aide pas à résoudre le problème de la localisation de l'origine des erreurs : par exemple, une erreur de position de classe provient-elle d'un problème d'encodage de l'information de position ou de sélection du chiffre lors de la production ?

1.2.2. McCloskey : modèle sémantique de transcodage (1985)

Le modèle de McCloskey (64) fait suite aux travaux de Deloche et Séron. L'auteur s'intéresse à des études de cas uniques. Il distingue deux systèmes (Sternberg et coll. 2014)(88) :

- Le système de **traitement du nombre**, comprenant les processus de compréhension et les processus de production. Entre ces processus, l'auteur fait l'hypothèse de l'existence d'une représentation sémantique abstraite des numéraux, i.e. un codage amodal des quantités, en base 10.

  Selon McCloskey, chaque composant de compréhension et de production comporte un sous-composant dédié au traitement de chaque code :

  - le code verbal : il comprend le code verbal oral avec un lexique phonologique et des règles syntaxiques, et le code verbal écrit, qui comporte un lexique graphémique et des règles syntaxiques également ;
  - le code arabe qui comporte un lexique de 10 chiffres et une syntaxe de position.
- Le système des **mécanismes de calcul** :
  - Le stockage des faits arithmétiques en mémoire à long terme ;
  - Les procédures : la succession des étapes permettant la réalisation des calculs à l'écrit et à l'oral.

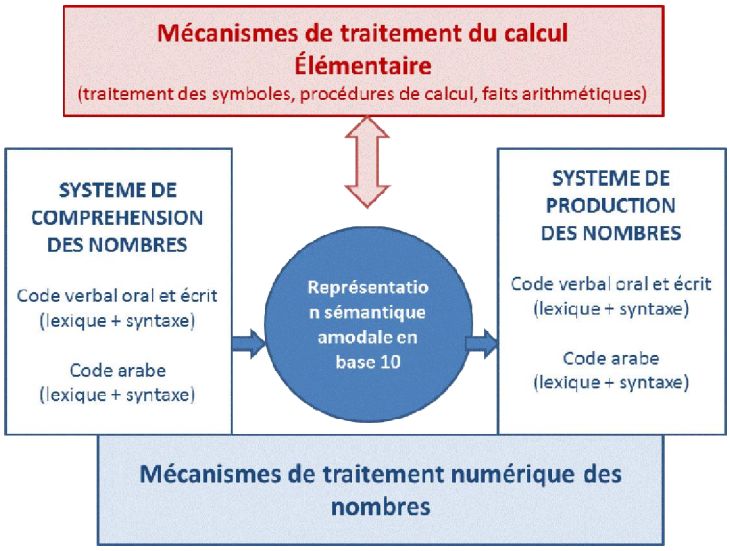


Figure 2 : représentation du modèle sémantique de transcodage de McCloskey

Le système de compréhension est en charge de traduire tout numéral en entrée en une modalité sémantique abstraite. Le système de production est capable de traduire toute représentation sémantique abstraite en une représentation dans l'un ou l'autre des codes en sortie.

Ce modèle apporte deux grandes nouveautés par rapport au précédent modèle de Deloche et Séron : la représentation amodale en base 10 des quantités et l'encapsulation des composants, c'est-à-dire qu'« *un déficit affectant sélectivement un composant du modèle*

doit avoir la même influence sur toutes les tâches impliquant ce composant » (Séron et coll. 2000)(86) (McCloskey et coll. 1985)(64).

1.2.3. Dehaene et Cohen : modèle du Triple Code (1992, 1995)

Ce modèle postule l'existence de trois représentations du nombre : une **représentation analogique des quantités** (porteuse du « sens du nombre » ou magnitude, une **représentation verbale** (séquences de mots syntaxiquement organisés) et une **représentation visuelle arabe** (suite de chiffres dans un espace de travail visuo-spatial interne) (Séron et coll. 2000)(86) (Dehaene 2011)(33).

- La **représentation analogique** aurait un sous-bassement neurobiologique, elle serait une représentation non-symbolique des quantités, donc *innée* (présente chez le bébé) et *universelle* (indépendante de la culture et de la langue). Elle permettrait le calcul approximatif (« subitizing » pour 1, 2 ou 3 objets et estimation de la numérosité au-delà).

  Cette représentation correspondrait à un continuum mental, une ligne numérique orientée de gauche à droite (Dehaene 2003)(30) compressible du côté des grands nombres, c'est-à-dire avec une représentation plus floue des distances entre les grands nombres qu'entre les petits (effet SNARC : Spatial Numerical Association of Response Code). D'où la mise en évidence de deux effets :

  - Effet de distance : lors de la comparaison de deux nombres, le temps de réponse est inversement proportionnel à la distance entre deux nombres. Il est en effet plus difficile pour le cerveau de saisir le contraste : plus l'écart entre les nombres est grand, plus la réponse sera rapide (ex : comparaison plus aisée entre 50 et 100 qu'entre 50 et 53).
  - Effet de taille : lors de la comparaison de deux nombres, et à distance égale entre ces deux nombres, le temps de réponse sera proportionnel à la taille des nombres (ex : comparaison plus aisée entre 2 et 4 qu'entre 346 et 348).

- La **représentation verbale** : il s'agit de la chaîne verbale, dont l'apprentissage est implicite mais lié à la culture et à la langue maternelle. Cette représentation permet le calcul exact. Le stockage des faits arithmétiques en mémoire à long terme repose essentiellement sur le maniement répété de ces faits dans le code verbal. L'étude de l'interface entre la représentation analogique approximative des quantités et la représentation verbale exacte a montré que l'approximation est généralement proche de la réalité, avec une sensibilité au contexte (quantités présentées parmi d'autres,

plus grandes ou plus petites) et à la manière dont sont réparties les quantités (régulièrement ou non) (Izard et coll. 2008)(56).

- La **représentation indo-arabe** : c'est la notation positionnelle en base 10, avec un lexique et une syntaxe propres. L'apprentissage de ce code est explicite. Il permet le calcul exact.

Ce modèle est dit « *à plusieurs voies* » car il permet de passer d'un code à l'autre soit en activant la représentation sémantique du nombre, soit en passant directement du code verbal au code arabe, sans passer par la représentation de la quantité.
Ce modèle du triple code fait encore référence aujourd'hui.

1.2.4. Barrouillet : Un modèle transverse, ADAPT (2004)

L'ADAPT (A Developmental Asemantic Procedural Transcoding model (Barrouillet et coll. 2004)(11) a été construit à partir de l'observation d'enfants et d'adolescents, et ne concerne donc pas uniquement les patients cérébrolésés. C'est un modèle procédural, développemental et asémantique. Les études réalisées avec le modèle ADAPT comme postulat confirment ses prédictions :

- La difficulté de transcription d'un nombre est fonction du nombre de procédures nécessaires,
- Les formes les plus simples sont précocement récupérées en mémoire plutôt que transcodées de manière algorithmique,
- Le transcodage des nombres ne nécessite pas de passer par une représentation de la quantité à laquelle le nombre réfère mais engage des processus asémantiques.

L'ADAPT intègre un système de « parsing », qui prend en charge le découpage de la forme verbale dans la boucle phonologique, le stockage des éléments en mémoire de travail, la récupération en mémoire à long terme de la forme des chiffres et un système de production permettant de produire en sortie une chaîne de chiffres. L'ADAPT prend donc en compte l'interaction constante entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme.
Il permet enfin de simuler les processus d'apprentissage ainsi que les troubles du calcul.

II. <u>Étude des relations anatomo-cliniques dans les troubles du calcul</u>

2.1.Ce que l'on savait jusqu'à présent

Dès les premiers travaux sur l'acalculie au début du XX^{è} siècle, les auteurs commencent à étudier les possibles corrélations anatomo-fonctionnelles entre les troubles et les

lésions. Ainsi, Henschen propose d'associer la cécité numérique à une lésion du gyrus angulaire et de la fissure pariétale, l'agraphie numérique à une lésion du gyrus angulaire et l'aphasie pour les chiffres à une lésion de la base du pied de F3, 3è circonvolution frontale (Séron et coll. 1999)(85).

Hécaen propose en 1961 (51) des liens entre acalculie et localisation de la lésion : l'alexie aphasique serait due à une lésion pariétale gauche ou bilatérale, l'acalculie visuo-spatiale à des lésions pariétales droites ou gauche et l'anarithmétie à des lésions bilatérales mais plus marquées à gauche qu'à droite.

Il est le premier à mettre en relation l'aire pariétale gauche et les capacités verbales de traitement des nombres et l'aire pariétale droite et les capacités spatiales.

À la fin des années 90, Ardila et Rosselli réalisent une étude auprès de 21 patients cérébrolésés droits et 41 gauches afin de mettre en évidence d'éventuels profils numériques distincts (Ardila et coll. 1989)(4). Il constatent 1) que tous les patients cérébrolésés présentent des troubles du calcul à différents degrés, que leur l'atteinte soit située à droite ou à gauche ; 2) que les patients cérébrolésés gauches (et en particulier les patients ayant une lésion rétro-rolandique) présentent un nombre global d'erreurs supérieur aux cérébrolésés droits ; 3) que les patients cérébrolésés droits présentaient également des troubles (en particulier les patients avec lésion rétro-rolandique), souvent en lien avec un déficit spatial 4) mais que les compétences numériques mettent en jeu un système de compétences cognitives tellement complexes et reposant sur de nombreuses structures cérébrales, corticales et sous-corticales, que des lésions différentes peuvent aboutir à des patterns d'erreurs différents comme à des erreurs similaires.

2.2.Les connaissances admises

Il est globalement admis les macro-localisations fonctionnelles suivantes :

- **L'hémisphère pariétal gauche**, dominant pour le langage, gère la production et la compréhension du nombre, les compétences en calcul, le stockage et la récupération des faits arithmétiques ;
- **L'hémisphère pariétal droit** est dominant pour les compétences visuo-spatiales et la gestion des procédures de calcul complexes ;
- Le **lobe frontal et pré-frontal** est en charge de la planification, de la prise de décision, de la vérification et de la correction des erreurs (Dehaene 2010)(32) ainsi que de l'estimation cognitive (capacité à donner des réponses approximatives à des questions de connaissances générales (comme la taille ou le poids d'un objet

quelconque, dont la réponse précise n'est pas connue à l'avance), en l'absence de déficit sémantique (Revkin et coll. 2008)(77).

L'arrivée de l'IRMf permet depuis une dizaine d'années de faire des avancées significatives en termes de connaissances :

- des liens localisation-lésion, en validant ou invalidant les hypothèses avancées par les auteurs, et en précisant le rôle d'autres régions cérébrales, en particulier l'hémisphère droit, autrefois jugé mineur ;
- du développement de la spécialisation hémisphérique au contact du symbole numérique.

2.3.Le modèle anatomo-fonctionnel du Triple Code

Le modèle de Dehaene et Cohen fait référence depuis une vingtaine d'années (Dehaene 2011)(33) (31). Les auteurs ont proposé un corrélat fonctionnel à leur modèle, qu'ils ont précisé au fur et à mesure de leurs découvertes.

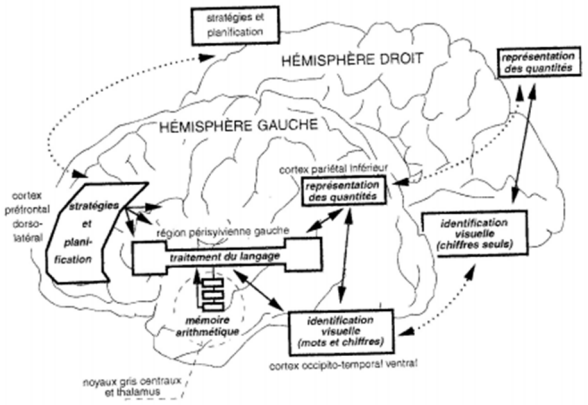


Figure 3 : *schéma tiré de « La bosse des maths, 10 ans après », p.216 ; S. Dehaene*

Bien entendu, selon Dehaene dans « La bosse des Maths » (Dehaene 2010)(32), « *même des fonctions apparemment simples requièrent la coordination d'un grand nombre d'aires cérébrales…* » et « *chaque opération recrute un réseau cérébral étendu* », et non une région bien délimitée ou identique chez tous.

La logique de la connaissance des aires cérébrales impliquées dans le calcul est donc éloignée de la logique phrénologique (Renner 2011)(76) et il n'est pas envisagé de simplement faire correspondre une aire cérébrale à une fonction. Cependant, en grande partie grâce aux avancées des techniques d'imagerie, on connaît de mieux en mieux les régions et les réseaux impliqués dans des processus mathématiques précis, ce qui permet de mieux appréhender l'origine des troubles et des dissociations observées (Cohen et coll. 2000)(23).

Dans leur modèle, Dehaene et Cohen avancent plusieurs postulats (31) :

- Les 2 hémisphères possèdent des procédures d'identification visuelle efficaces. À gauche, le système visuel peut reconnaître tous les chiffres, les nombres, les mots écrits. Il permet de gérer les formes visuelles des mots et des nombres. Les régions concernées seraient situées dans la région occipito-temporale gauche. Une région homologue serait concernée à droite, mais avec une capacité restreinte de gestion du vocabulaire visuel symbolique (les chiffres arabes et les symboles opératoires).
- Les deux hémisphères possèderaient une représentation analogique de la magnitude - ou grandeur- et une capacité de comparaison des nombres entre eux. Ces processus seraient implémentés dans les régions bilatérales à la jonction des aires pariéto-occipito-temporales. L'hémisphère droit aurait cependant des capacités supérieures au gauche dans le traitement des quantités.
- La modalité verbale serait seulement représentée dans l'hémisphère gauche. L'arithmétique mentale est intimement liée au langage et à une représentation verbale des nombres. La récupération des faits arithmétiques serait gérée par les aires gauches du langage ; cependant, les procédures de calcul impliquant des nombres à plusieurs chiffres requièrent la coordination des représentations visuo-spatiales et verbales des nombres.
- Dans l'hémisphère gauche, les représentations verbales, visuelles et de grandeur des nombres sont inter-connectées et peuvent échanger de l'information directement par des voies dédiées. Il existe une voie asémantique dans l'hémisphère gauche, reliant la forme visuelle et la forme verbale des nombres (sans passer par la voie analogique ou « sens » du nombre). Dans l'hémisphère droit, seules les représentations visuelle et analogique sont reliées.
- Des voies transcallosales relient les deux représentations visuelles et les deux représentations analogiques de chaque hémisphère. Par contre, il n'existerait pas de voie directe reliant la représentation visuelle dans l'hémisphère droit à la représentation verbale dans l'hémisphère gauche.

Des études ultérieures permettent aux auteurs de préciser leur modèle (Dehaene et coll. 2003)(31), (Nieder et coll. 2009)(66) en particulier en confrontant les prédictions du Triple Code à différents cas cliniques présentés dans la littérature.

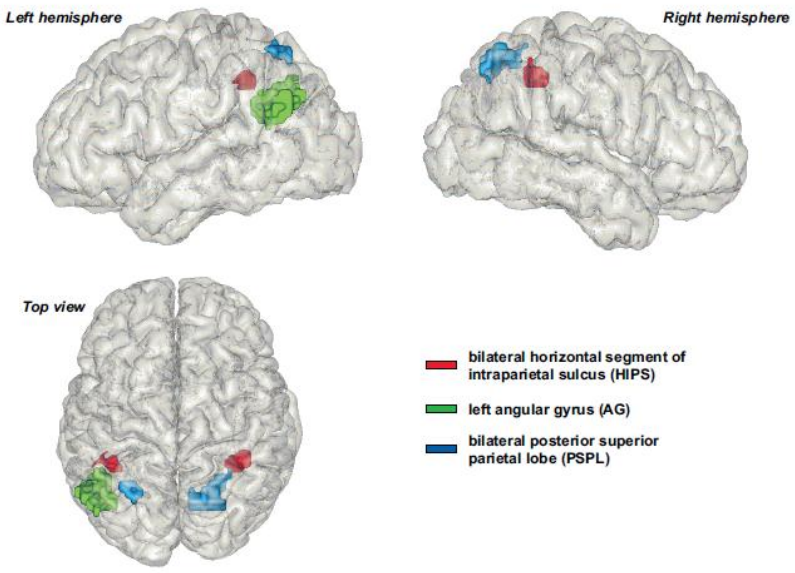


Figure 4 : *Localisation anatomique des principales aires du calcul* (S. Dehaene et coll. 2003)(31)

- Le segment horizontal du sulcus intrapariétal (HIPS) serait le siège de la représentation sémantique du nombre, ou sens du nombre. En effet, cette région paraît être particulièrement activée dans le cas du calcul mental (faits arithmétiques), de comparaisons de nombres. Cette région serait également plus sensible à la catégorie des nombres qu'à d'autres catégories non numériques (degré de férocité des animaux, position relative des parties du corps …). L'activation de ce HIPS serait modulée par certains paramètres sémantiques comme la grandeur absolue ou la valeur relative des nombres. Par exemple, elle dure plus longtemps lors de manipulation de grands nombres. Par contre, cette activation semble indépendante de la modalité de présentation du nombre : forme arabe visuelle, ensemble de points, nombre-mot. Enfin, cette région prendrait en charge le traitement de la quantité même en dehors de la conscience du sujet (expérience du « masquage en sandwich »).

  Cette magnitude, indépendante du symbole dans laquelle elle est présentée, serait présente bilatéralement. Sa représentation mentale pourrait correspondre à une ligne numérique orientée vers la droite (grands nombres à droite).

- Le gyrus angulaire gauche s'active fortement lors de tâches arithmétiques requérant un traitement verbal. Il est par ailleurs activé dans des tâches de lecture ou de mémoire verbale à court terme, il n'est donc pas « nombre-spécifique ». Par ailleurs, son activation est modulée selon le degré d'utilisation de langage requis par la tâche : lors de tâches de calcul exact versus des tâches de comparaison, lors de multiplications (récupération des faits arithmétiques appris par cœur) versus des

soustractions (manipulation de quantités) ou encore lors de petites additions dont le résultat est récupéré en mémoire à long terme versus des grandes additions requérant une procédure de calcul.

- Le lobule pariétal postéro-supérieur (PSPL) : cette région s'active lors des comparaisons de nombres, des approximations, des soustractions de nombres à deux chiffres, et du comptage. Cette région n'est pas dédiée uniquement au traitement des nombre ; elle joue un rôle dans l'orientation du regard et de l'attention dans l'espace. Dehaene et coll. font l'hypothèse de l'existence d'un lien fort entre nombres, représenté sur une ligne numérique, et espace dans ce PSPL.
- Les régions préfrontales orchestrent les fonctions activées par les différents traitements numériques : planification, prise de décision, correction des erreurs.

2.4.Quelques amendements récents au modèle du Triple code

Depuis la parution du modèle, de nombreux chercheurs ont apporté des précisions, des compléments ou des remises en cause par rapport au fonctionnement et aux corrélations anatomiques du modèle de Dehaene et Cohen. Ces auteurs ont en particulier cherché : 1) à comprendre quels réseaux cérébraux étaient impliqués dans quels types de traitements des nombres (opérations arithmétiques ou traitements du nombre ne faisant pas appel au calcul) ; 2) à décrire et comprendre comment le cerveau se développait de l'enfance à l'âge adulte pour arriver à ces « spécialisations » hémispériques. Nous nous intéresserons ici uniquement aux études récentes (parues depuis 2010), et ferons un focus sur l'intérêt que montre la littérature concernant le rôle de l'hémisphère « mineur » droit.

2.4.1. Arsalidou (2011) : mise à jour de la cartographie du Triple Code

Arsalidou a mené une méta-analyse (6) regroupant 53 études en IRMf (soit un total de 698 participants) afin de dessiner une nouvelle cartographie des régions et processus cérébraux impliqués dans le traitement des nombres, en se basant sur le modèle anatomo-fonctionnel du Triple Code.

L'étude différencie les "*number tasks*" (comparaisons de nombres, de nombres et de lettres, de quantités de points, etc., n'impliquant pas d'opérations arithmétiques) et les "*calculation tasks*" (qui ont recours aux opérations arithmétiques comme les additions et soustractions).

La méta-analyse confirme que les régions recrutées pour les 2 types de tâches se recouvrent beaucoup (lobules pariétaux inférieurs et supérieurs), sauf pour la région du

cortex préfrontal qui s'active significativement plus lors de tâches de calcul, qui solliciteraient davantage de ressources cognitives comme la mémoire de travail ou l'attention, non prises en compte par le modèle du Triple code.

Par ailleurs, les tendances suivantes ont pu être observées :

- Les additions augmentent l'activité des aires visuelles, pariétales, frontales et préfrontales, le thalamus bilatéralement, l'insula droite, le claustrum droit et le cervelet bilatéralement ;
- Les soustractions activent les régions visuelles occipito-temporales, les aires pariétales, frontales et préfrontales. Des activités ont également été relevées au niveau de l'insula bilatéralement et du cervelet droit ;
- Les multiplications activent les aires visuelles occipito-temporales, les régions pariétales, temporales, frontales et préfrontales.

L'hémisphère gauche apparaît dominant pour les additions, les soustractions requièrent un travail des deux hémisphères ou parfois même une dominance gauche pour certaines régions, et la multiplication serait davantage prise en charge par l'hémisphère droit que ce qui avait été décrit dans le modèle du Triple code, avec des nuances en fonction de la difficulté des opérations et du recours aux faits arithmétiques.

Suite aux résultats de cette étude, Arsalidou et coll. proposent donc de mettre à jour quelques hypothèses du modèle anatomo-fonctionnel du Triple code. En effet, pour Dehaene et Cohen, le gyrus fusiforme (GF) est activé lors de tâches liées aux nombres et aux calculs. Cette méta analyse précise que ce ne serait le cas que pour le GF gauche. Le GF droit serait en effet davantage dédié au traitement global plus que local des formes (d'où son rôle dans le traitement des visages et moins dans celui des nombres).

Par ailleurs, une activité préfrontale est constatée pendant les tâches de traitement des nombres et surtout de calcul. Les auteurs en déduisent que les contributions du cortex préfrontal seraient liées à la difficulté de la tâche. Le gyrus frontal inférieur bilatéral serait impliqué dans le traitement numérique simple qui requiert peu de besoin de stockage ou de procédures. Si au contraire la tâche nécessite plusieurs étapes cognitives procédurales ou un stockage plus long ou plus lourd, les gyrus mediums seraient recrutés. En dernier recours, les gyrus frontal médian et supérieur bilatéraux seraient impliqués quand il s'agit de générer des stratégies impliquant des problèmes à plusieurs étapes.

La méta-analyse a ainsi permis de confirmer nombre des hypothèses du modèle de Dehaene et Cohen, tout en proposant une mise à jour de sa cartographie fonctionnelle et en montrant aussi qu'il est difficile de relier une opération à une latéralisation.

2.4.2. Revue Andres et coll. : précisions sur les réseaux cérébraux impliqués dans les différentes opérations arithmétiques (2011)

Andres et coll. (1) ont cherché à mieux identifier le rôle du HIPS et du PSPL (qui géreraient la magnitude ou « sens du nombre » d'après les hypothèses initiales du Triple Code), dans les différentes opérations arithmétiques. En effet, si la plupart des études ont montré une contribution de ces régions dans la résolution d'additions et de soustractions, leur rôle dans la résolution de multiplications -qui demande la récupération de faits appris en mémoire à long terme- reste flou.

Certains auteurs (Delazer et coll. 2004)(36) (Pinel et coll. 2010)(70) suggèrent que des réseaux cérébraux distincts gèrent ces 2 types d'opérations, et en particulier que la multiplication, reposant sur la récupération d'informations en mémoire et sur le langage, est principalement gérée par les réseaux du lobe gauche. D'autres auteurs ont nuancé ces résultats (Keller et coll 2009)(57) en montrant que les aires du langage à gauche pouvaient n'être parfois même pas activées lors de la récupération de faits arithmétiques.

Dans son étude, Andres montre que les réseaux cérébraux impliqués dans les soustractions et les multiplications ne sont pas si distincts.

L'équipe a testé 10 sujets masculins de langue française, droitiers, ne présentant aucun déficit neurologique. Les chercheurs ont d'abord identifié, grâce à l'IRM fonctionnelle, les régions activées lors des différentes opérations, puis ont utilisé la stimulation trans-crânienne afin de créer des lésions virtuelles dans ces régions, au moment de la passation des tests.

L'imagerie fonctionnelle a mis en évidence que les mêmes régions du HIPS s'activaient pour la soustraction et la multiplication. À gauche, cette région correspond exactement à celle décrite par Dehaene dans une méta-analyse en 2003 (31), comme étant au cœur du traitement de la magnitude. Andres et coll. ont également mis en évidence un rôle du HIPS droit puisqu'une lésion à droite entrainait également un ralentissement et des erreurs dans les 2 types d'opérations (mais un taux d'erreur moindre après une lésion virtuelle droite qu'après une lésion virtuelle gauche pour les multiplications).

Les résultats indiquent que l'intégrité du sillon intra-pariétal (HIPS) est indispensable pour réaliser toutes les opérations arithmétiques, et qu'il contribue à la résolution des soustractions mais aussi des multiplications, ce qui montre que les réseaux cérébraux sous-tendant ces opérations ne sont pas distincts. Andres et coll. suggèrent que le HIPS permettrait une bonne récupération des informations en mémoire en contribuant à la

génération et à la maintenance d'une représentation intégrée de la grandeur du nombre et de la récupération des faits arithmétiques (sorte de buffer épisodique).
Leurs résultats suggèrent également que le lobule pariétal postéro-supérieur (PSPL) sous-tend des traitements secondaires, non essentiels à la résolution de problèmes opératoires basiques, dans la mesure où ils n'ont noté aucun trouble dans la résolution des opérations alors qu'ils créaient dans lésions virtuelles sur les régions précises identifiées comme s'activant lors des tâches arithmétiques (Pesenti et coll. 2000)(69).

2.4.3. Cappelletti (2012) : étude du profil numérique de patients souffrant de troubles neurologiques acquis

L'étude (Cappelletti et coll. 2012)(19) a été réalisée sur une population de 76 sujets, 40 sujets sains et 36 patients présentant différentes lésions neurologiques d'étiologies variées (maladie d'Alzheimer, démences fronto-temporales, démences sémantiques, aphasies progressives, encéphalite herpétique ou AVC).
Cette étude est intéressante par son approche fonctionnelle et écologique. En effet, son objectif était de décrire et comparer les troubles et d'identifier si possible des « profils numériques ».
Les tests comprenaient des tâches numériques non liées au calcul (comparaisons de nombres, appariement jetons/nombre, compréhension de nombres et de quantités), des tâches de calcul arithmétique (calcul mental et écrit sur les 4 opérations, approximations), et des tâches sémantiques sur du matériel non numérique (dénomination d'images, classification, appariement nom/image, description de traits sémantiques et fluences).

Les résultats indiquent que : 1) La majorité des patients a montré des habiletés de calcul diminuées, à l'exception de la plupart des démences sémantiques et des patients avec encéphalite herpétique ; 2) Tous les patients -même ceux ayant une lésion pariétale- avaient des processus d'évaluation de la quantité intacts (peut-être dû au phénomène de vicariance) avec une représentation spatiale des nombres préservée ; 3) Les patients ont montré des profils de performances hétérogènes dans les tâches de comparaison des nombres et de transcodage ; 4) Les sujets avec des troubles des connaissances sémantiques avaient un savoir numérique mieux préservé, ce qui suggère que les compétences numériques constituent une catégorie sémantique à part dans le système sémantique.

2.4.4. Vogel (2015) : spécialisation développementale du lobe pariétal gauche pour la représentation symbolique du nombre

Dans la lignée des études de Cohen et Izard sur les capacités numériques chez les enfants (Izard et coll. 2008)(55) (Coubart et coll. 2014)(26), les auteurs ont voulu étudier comment la représentation symbolique du nombre (i.e. numéral arabe) se développe dans le lobe pariétal gauche (sulcus intrapariétal), pour passer chez les petits enfants d'une image sans signification particulière à un symbole riche en représentations et liens sémantiques à l'âge adulte. Les études sur ce sujet (Ansari et coll. 2006)(2) (3) concluent qu'il y aurait chez les enfants un désengagement progressif du lobe frontal dans la prise en charge du traitement du nombre, au profit des lobes pariétaux, avec des différences hémisphériques : prise en charge du traitement de la représentation symbolique des quantités par le lobe pariétal gauche, directement en fonction du développement des capacités numériques de l'enfant (Emerson et coll. 2015)(43), et traitement des quantités non symboliques à droite suivant un développement plus stable (Hyde et coll. 2010)(54). L'étude de Vogel auprès d'enfants et d'adolescents de 6 à 14 ans (92) montre en effet une activation invariante du HIPS droit en présence de numéraux arabes quel que soit l'âge, alors que l'activation du HIPS gauche est croissante avec l'âge.

2.5.Un focus sur le rôle de l'hémisphère « mineur »

2.5.1. Yu et coll (2011)

Ces auteurs ont montré qu'une lésion virtuelle du lobe pariétal droit (lobule pariétal inférieur droit et gyrus angulaire droit) troublait les performances d'un patient lors de la résolution d'une soustraction simple mais pas d'une multiplication. Ils ont expliqué cela en reliant l'implication du lobe pariétal droit dans la soustraction à son rôle dans le processus lié à la quantité, plutôt que dans le traitement numérique verbal (plus important pour la multiplication). Ils ont aussi supposé un rôle des représentations spatiales du nombre dans la région pariétale sélectionnée (Yu et coll. 2011)(93).

2.5.2. Rosenberg (2011)

L'étude (Rosenberg-Lee et coll. 2011)(79) a été réalisée auprès de 20 sujets sains, auxquels les auteurs ont présenté les 4 opérations arithmétiques ainsi qu'une tâche d'identification de nombres pendant une IRM fonctionnelle. Ces auteurs se sont appuyés

sur les subdivisions de Caspers et coll. qui ont proposé en 2006 un découpage des aires cérébrales du cortex pariétal différent de celui de Broadman (Caspers et coll. 2006)(20).
L'étude montre que les subdivisions individuelles du cortex pariétal postérieur (sulcus intra pariétal, lobule pariétal supérieur et gyrus angulaire) sont différemment modulées par les 4 opérations arithmétiques. Ces effets pourraient être liés aux 3 processus cognitifs clés engagés de façon différente lors de ces 4 opérations arithmétiques (i.e. la récupération, le calcul et l'inversion d'opération).
Les auteurs notent cependant que :

- Les multiplications et les divisions engendrent une activation des régions pariétales droite et gauche, avec des réponses décroissantes dans un sens postérieur-antérieur ;
- La soustraction engendre une réponse significative à gauche mais pas à droite ;
- L'addition n'engendre pas d'activation significative du cortex pariétal postérieur (PPC), mais une désactivation dans le gyrus angulaire et le gyrus supra marginal droits.

Rosenberg et son équipe constatent en effet une hétérogénéité fonctionnelle significative et des différences individuelles en termes d'activation et de désactivation de ces régions, qui peuvent expliquer pourquoi les études ne parviennent pas à trouver de résultats constants concernant les localisations des processus cérébraux engagés pendant ces 4 opérations.
En effet, les 4 opérations reposent sur un schéma complexe de distribution de réponses dans le cortex pariétal postérieur, impliquant différents niveaux d'activation et de désactivation dans des subdivisions distinctes des sulcus intra pariétal, lobule pariétal supérieur et gyrus angulaire.

2.5.3. Della Puppa (2013)

Della Puppa et son équipe ont proposé un mapping fonctionnel du lobe pariétal droit suite à une étude en chirurgie éveillée auprès de 3 patients souffrant de tumeurs. Leurs données intra-opératoires suggèrent l'implication des régions du lobule inférieur et du sulcus intrapariétal droits dans la multiplication et l'addition (Della Puppa et coll. 2013)(37).

2.5.4. Price (2013)

Ces auteurs ont montré le rôle probable de l'hémisphère droit dans l'apprentissage des mathématiques. Ils ont en effet constaté lors de leur test qu'une plus grande activation du sulcus intra pariétal droit était liée à des scores en calcul plus faibles, ce qui refléterait,

selon eux, l'utilisation de stratégies de calcul par les moins bons calculateurs versus la récupération en mémoire des faits arithmétiques par de meilleurs calculateurs (Price et coll. 2013)(74).

2.5.5. Benavides : influence de la négligence sur les troubles du calcul (2014)

Cette étude auprès de 24 patients cérébrolésés droits avait pour objectif d'explorer les compétences en nombres et en calculs basiques, et étudier l'influence de la négligence spatiale gauche (Benavides et coll. 2014)(15). Il a été présenté plusieurs tâches de calcul (comptage, comparaison de grandeurs, lecture et écriture de nombre arabes, calcul mental …) à un échantillon de 12 patients cérébrolésés droits (CLD) avec négligence (CLDaN) et à 12 patients cérébrolésés droits sans négligence (CLDsN), ainsi qu'à 12 sujets contrôle sains.

Des différences significatives ont été constatées entre le groupe contrôle et à la fois le groupe des CLDsN et des CLDaN, ce qui suggère que le trouble des capacités numériques ne correspond pas forcément à la présence de la négligence gauche.

Une analyse détaillée des subtests met en évidence des différences entre les patients sains, les CLDaN et les CLDsN concernant l'écriture et la lecture des chiffres arabes. Des différences sont relevées entre les patients contrôles et les patients avec négligence dans des tâches comme la soustraction mentale ou la multiplication mentale qui ne demandent pourtant pas d'habiletés écrites visuo-spatiales.

Ces résultats suggèrent qu'une lésion unilatérale de l'hémisphère droit pourrait produire des déficits spécifiques de représentation qui affecterait le calcul mental simple et pas seulement l'organisation spatiale des nombres écrits à plusieurs chiffres comme on le pensait avant.

Conclusion : cette étude vérifie l'hypothèse que les capacités numériques sont touchées chez les patients, indépendamment de la présence de négligence, même au niveau de traitements et de calculs basiques. Les troubles observés ne correspondaient pas forcément ni à la présence de négligence, ni à la présence de troubles sensori-moteurs ou visuo-spatiaux. La négligence renforce cependant les troubles à l'écrit et pour les soustractions et multiplications mentales.

Comment la négligence détermine précisément les erreurs, même dans des tâches de calcul simple, reste difficile à comprendre à l'issue de cette étude, et les auteurs ne peuvent faire que des spéculations.

III. Les batteries d'évaluation de l'acalculie chez les patients cérébrolésés

3.1.Batteries « classiques » d'évaluation de l'acalculie

Trois principaux tests normalisés et validés sont actuellement proposés pour évaluer les déficits des capacités arithmétiques de patients adultes cérébrolésés. Ce sont uniquement des batteries analytiques.

3.1.1. EC301 (Deloche et Séron 1989 et 1991)

Cette batterie a été élaborée à partir des principaux modèles cognitifs existants (Deloche et Séron, McCloskey, Dehaene et Cohen), sans en choisir un en particulier, avec pour objectif de donner au clinicien un instrument d'évaluation des troubles survenant dans le domaine du traitement des nombres et du calcul (Deloche et coll. 1991)(41).
31 épreuves réunies en 13 tâches explorent les principaux aspects de la manipulation des nombres : calcul, compréhension et production des nombres, avec trois codes possibles en entrée et en sortie (mots écrits, chiffres arabes, code oral).
La passation ne doit pas excéder 1h répartie en deux fois 30 minutes. La batterie a été normalisée sur 180 sujets normaux, contrôlés pour l'âge, le sexe et le niveau socio-culturel. Sa sensibilité a été testée auprès de 100 patients cérébrolésés adultes grâce à une étude de corrélation entre l'EC301 et un questionnaire d'auto-évaluation.
Cet outil n'est actuellement plus édité.

3.1.2. TLC2 (Bout-Forestier et coll., 2004)

Le test (Bout-Forestier 2008)(18) comporte 11 épreuves (et 29 sous-épreuves), permettant de balayer les principales capacités numériques et de déceler les processus déficitaires chez un patient : reconnaissance des nombres et des signes opératoires, opérations de transcodage, comptage, comparaisons de chiffres, calcul mental, capacités à poser et à résoudre des opérations, résolution de problèmes logico-mathématiques, connaissances encyclopédiques sur les nombres et utilisation écologique du nombre.
Ce test a été normalisé auprès de 72 sujets de 20 à 80 ans et une passation auprès de 20 patients cérébrolésés adultes a permis une validation partielle. Ce test est actuellement commercialisé.

3.1.3. ECAN (Auzou, normalisation en 2012)

L'Évaluation Clinique des Aptitudes Numériques est issue du NPC (Number Processing and Calculation) de Delazer et Girelli (2003)(35) et prévoit, en plus, une mesure du temps de réponse du patient à chaque épreuve.

L'ECAN a été élaborée en 2011 et sa validation a été achevée lors d'un mémoire d'orthophonie en 2012 (Galibourg 2013)(45), grâce à une normalisation auprès de 423 témoins adultes sains. L'outil a été construit en référence aux 3 grands modèles de neuropsychologie du calcul présentés plus haut : McCloskey, Deloche & Séron et Dehaene & Cohen.

Il comprend 36 épreuves analytiques explorant 4 domaines : A/ la connaissance des nombres avec des épreuves de comptages (6 épreuves, 12 sous-épreuves), B/ les transcodages (8 épreuves), C/ le calcul (7 épreuves, 13 sous-épreuves), D/ la connaissance usuelle (3 épreuves).

Les épreuves respectent une progression dans la complexité et les résultats peuvent être enrichis des données qualitatives recueillies lors de la passation (commentaires du patient, stratégie utilisée …). Celle-ci est relativement longue, mais les épreuves peuvent être passées sur plusieurs sessions (exemples d'épreuves de l'ECAN en ANNEXE E).

3.2.Développement des Batteries écologiques

3.2.1. La Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF, 2001)

Elle fait suite à la Classification Internationale des Déficiences, Incapacités et Handicaps (CIDIH) (Béthoux et coll. 2012)(17), (Rochat 2008)(78).

a) La CIDIH

Cette ancienne classification de l'OMS née en 1980 décrivait trois niveaux distincts (connus sous le nom de schéma de Wood) : le niveau lésionnel (les déficiences), le niveau fonctionnel (les incapacités) et le niveau situationnel (désavantage social).

La **déficience** correspond à une perte de substance ou une altération d'une fonction ou d'une structure psychologique ou anatomique, **l'incapacité** correspond à la réduction partielle ou totale de la capacité d'accomplir une activité d'une façon ou dans les limites considérées comme normales pour un être humain (niveau fonctionnel). Le **désavantage social** -ou **handicap**- est le préjudice résultant de la déficience ou de l'incapacité et qui

limite ou interdit l'accomplissement d'un rôle considéré comme normal compte-tenu de l'âge, du sexe et des facteurs socio-culturels (niveau environnemental).
Bien que cette classification abandonne l'idée de devoir guérir à tout prix, et présente une grande avancée en passant à un modèle réadaptatif, elle a subi dès le début de nombreuses critiques car elle ne faisait pas référence aux facteurs environnementaux, partait d'une vision négative et sous-tendait encore trop l'existence d'un lien linéaire entre déficiences et désavantages.

b) La CIF

Elle a été créée en 2001 et imposée en France par la loi du 11 février 2005. C'est une Classification du Fonctionnement, du handicap et de la santé qui tente de décrire le domaine de la normalité. Elle se veut applicable à tous, elle n'est pas réservée aux personnes handicapées. Elle a une approche plus positive et se situe dans la notion de non-discrimination.
Elle s'appuie sur un modèle biopsychosocial du handicap, le handicap se trouvant lié aux obstacles s'opposant à la pleine participation sociale de l'individu. Le handicap devient ainsi un enjeu de santé publique.

La CIF se compose de deux parties :
Une partie « *Fonctionnement et Handicap* » :

- Les fonctions organiques (physiologiques, psychologiques) et structures anatomiques (parties du corps humain),
- L'activité (exécution d'une tâche) et la participation (ce qu'on évalue dans le milieu réel des individus).

Les **limitations d'activité** concernent la réduction de la capacité à accomplir une activité dans la vie quotidienne dans des conditions « optimales » et les **restrictions de participation** désignent la réduction de la capacité à accomplir une activité dans des conditions « normales ».
Une seconde partie « *Facteurs contextuels* » :

- Facteurs environnementaux ;
- Facteurs personnels, trop nombreux pour être listés par la CIF, mais en rapport avec les caractéristiques propres à la personne, comme l'âge, le sexe ou la profession.

Les enjeux de cette nouvelle approche sont importants pour la rééducation, dont l'objectif devient de diminuer la limitation d'activités et de participation et non forcément de guérir

la « maladie ». Par ailleurs, elle prend en compte des facteurs environnementaux et personnels, ce qui la place directement dans une approche plus écologique du handicap.

3.2.2. Les évaluations écologiques chez les patients cérébrolésés

a) Intérêt des évaluations écologiques

C'est dans ce contexte que, peu à peu, les évaluations cognitives classiques ont été remises en question car elles évaluent le patient dans un cadre très structuré et normé, en évaluant des processus parfois très différents de ceux mis en jeu dans la vie de tous les jours (Pradat-Diehl et coll. 2006)(73).

En effet :

- Les séances de bilans très structurées peuvent être une aide pour certains sujets alors qu'elles sont anxiogènes pour d'autres ;
- Les bilans classiques ne testent pas l'ensemble des processus activés en vie quotidienne (autonomie, capacité de réaction à un événement impromptu, capacité d'adaptation à une nouvelle situation …) qui font pourtant partie des plaintes classiques des patients victimes d'une lésion cérébrale ;
- Les performances à un test classique ne préjugent pas forcément de l'importance du retentissement du trouble dans la vie quotidienne du patient ;
- L'évaluateur a un rôle moteur, canalisateur et étayant en situation de test, qui n'existe pas en vie quotidienne où le patient doit savoir faire face seul aux situations.

b) Enjeux des évaluations écologiques

Un enjeu important des tests écologiques sera de proposer une norme robuste, basée sur un grand nombre de patients, comme le font les tests « classiques », prenant ainsi en compte la grande variabilité interindividuelle existant entre des individus sains, concernant les compétences en calcul (variabilité pouvant être liée à la formation initiale, au niveau socio-culturel, à l'âge, à la profession, à l'utilisation quotidienne du nombre …).

Ensuite, l'appréciation du niveau antérieur du patient semble être primordiale pour évaluer puis mettre en place une rééducation écologique tenant compte des besoins réels quotidiens de la personne, et non de ce qu'elle devrait faire selon une norme théorique. Le bilan puis la rééducation écologique devront ainsi s'inscrire dans une dynamique personnelle et individualisée.

3.2.3. Champs d'applications des évaluations écologiques

La démarche écologique a pour objectif de mieux mesurer le retentissement d'un trouble sur la vie quotidienne, d'objectiver des difficultés rencontrées par le patient dans ses interactions avec l'environnement (Eustache et coll. 2013)(44). Elle concerne en outre potentiellement tous types de patients, de l'enfant à la personne âgée, et tous types d'étiologies engendrant un trouble des fonctions cognitives.
Pour ces différentes raisons, l'approche écologique est de plus en plus utilisée par les thérapeutes (neuropsychologues, orthophonistes, médecins de médecine physique et de réadaptation…) qui tentent de développer des outils davantage centrés sur le « fonctionnement » au quotidien.

La démarche écologique d'évaluation des **fonctions exécutives** est ainsi de plus en plus utilisée en complément des tests neuropsychologiques classiques, dont la validité est parfois jugée insuffisante.
Différentes approches peuvent être employées, présentées dans l'étude de Chevignard et coll. en 2013 (22) : - le développement de batteries écologiques, mais utilisant des tests très structurés, proches des tests papier-crayon ; - des questionnaires adressés aux patients et/ou à leur entourage ; - les évaluations utilisant la technologie de la réalité virtuelle (supermarché, rue ou bibliothèque virtuelle) ; - et enfin les évaluations utilisant une mise en situation réelle.
En 2014, l'équipe du Pr Azouvi s'est attelée à la validation du Dysexecutive Questionnaire (DEX), qui s'est révélé être suffisamment sensible et capable de déceler les difficultés quotidiennes des patients victimes de traumatismes crâniens sévère à un stade chronique.
Une autre étude a montré la pertinence d'une évaluation écologique des **fonctions exécutives** en complément de l'évaluation classique auprès d'enfants (Servant et coll. 2013)(87), par l'intermédiaire d'une tâche de cuisine (également utilisée auprès d'adultes).
Le projet « New World » présenté à Lille en 2012 (Laloyaux 2012)(59) a montré que les tâches (informatisées) de shopping et de préparation d'une réunion pouvaient être considérées comme de bons outils d'évaluation du **niveau de fonctionnement quotidien** pour différentes populations cliniques.
Une étude, auprès de 2 jeunes patientes atteintes de paralysie cérébrale (Coste et coll. 2013)(25) a montré que l'apport des mises en situations peut-être fondamental car il peut

révéler un **potentiel fonctionnel** que n'avaient pas révélé les bilans classiques, dans l'éventualité d'une entrée dans la vie professionnelle.

Les bilans écologiques apportent donc des informations spécifiques, qui, associées aux observations des bilans « classiques », permettent un aperçu des compétences en situation et intégrant l'influence des facteurs émotionnels, sociaux, relationnels, pratiques, motivationnels et de personnalité.
On voit donc bien ici la complémentarité des deux types de tests.

3.2.4. Présentation des tests écologiques existants sur l'acalculie

Concernant les habiletés numériques, quelques tests écologiques sont apparus ces dernières années, dont nous faisons ici une revue.

a) *Protocole d'évaluation de la manipulation de la monnaie chez les patients aphasiques (Mémoire d'orthophonie de l'école de Lyon, 2001,* (Couillandeau et coll. 2003)(27)

Il s'agit de tester par différentes épreuves les tâches de manipulation de monnaie lors d'un achat en magasin : appariement des pièces aux chiffres, lecture des nombres, estimation de la valeur d'un objet, comparaison des quantités, composition d'une somme, comptage d'une somme donnée, stratégies de paiement mises en œuvre, composition d'une somme avec le moins de billets possibles, faire le change, vérifier un retour d'argent.
Ces épreuves spécifiques autour de la manipulation de la monnaie sont complétées par une partie calcul et une épreuve de chiffres tirée de l'échelle de Weschler pour évaluer le fonctionnement de la mémoire à court terme.
Ce protocole a été testé auprès de 20 patients aphasiques et d'un groupe témoin apparié en sexe, âge et catégorie socio-professionnelle. Le mémoire a permis de démontrer que les patients aphasiques ont effectivement des difficultés avec le maniement de la monnaie. Ce protocole n'a cependant pas été validé ni normalisé.

b) *Protocole d'évaluation de la manipulation de la monnaie chez les personnes aphasiques (Mémoire d'orthophonie de l'école de Lille,* (Maslo et coll. 2005)(62)

Ce mémoire fait suite au précédent mémoire de Couillandeau et Durand. Le protocole teste 9 épreuves reprenant les différentes tâches de manipulation de la monnaie lors d'un

achat. Le test prévoit de faire manipuler des vraies pièces et billets aux patients afin de se rapprocher le plus possible d'une situation écologique.
Le bilan écologique est complété de deux épreuves plus analytiques évaluant les capacités de traitement numérique et de calcul.
La batterie a été validée et normalisée auprès d'une vingtaine de patients aphasiques mais n'a pas été publiée.

c) *Protocole d'évaluation de l'acalculie chez les personnes aphasiques (Mémoire d'orthophonie de l'école de Lyon,*(Godo et coll. 2005)(48)

Ce bilan se compose d'une première partie analytique comprenant huit épreuves : empan direct et indirect, reconnaissance de nombres en écriture arabe et en code verbal écrit, reconnaissance des opérateurs arithmétiques, dictée de nombres en chiffres arabes et en lettres, décision lexicale et décision grammaticale.
La seconde partie, écologique, teste le remplissage d'un chèque, le repérage d'un horaire de bus, une recherche de page dans un livre, une épreuve de résolution de problème, une épreuve de connaissances numériques et de représentation sémantique des nombres.
Ce protocole a été testé auprès de 10 patients aphasiques et 14 sujets témoins appariés en âge et en profession, mais n'a pas été normalisé.

d) *Batterie d'Évaluation du Nombre au Quotidien (B.E.N.Q.)*

La Batterie d'Évaluation du Nombre au Quotidien, première évaluation écologique du nombre en langue française, est née en 1993, d'abord sous le nom d'EMNS (Évaluation des capacités de Manipulation des Nombres en Situation, par Krayem et Lefoll), puis sous le nom de B.E.N.Q. en 1995 par Chouchane et Arnaud-Vidal. Elle a été révisée en 2007 par Breille et Giard, remaniée par Villain en 2010 (90) suite à une étude de ses qualités psychométriques puis révisée une nouvelle fois en 2012 par Bernard et Hurteaux (16). La B.E.N.Q. a été normalisée auprès de 126 sujets sains, validée et éditée en 2014 (Tarabon-Prévost et coll. 2014)(89). Les normes sont stratifiées en 3 niveaux socio-culturels (niveau « bas » inférieur ou égal au brevet, niveau « moyen » inférieur ou égal au bac, niveau « haut » études supérieures).
Une description détaillée des épreuves de la B.E.N.Q. sera effectuée dans la partie pratique de ce document (voir aussi ANNEXE B).

e) NADL, Numeral Activities of Daily Living (Semenza et coll. 2014)(84)

Semenza et son équipe italienne ont mené une étude ayant pour but de mettre au point un outil de mesure des activités numériques dans la vie quotidienne. En effet, si de très nombreuses études, comme évoqué plus haut, se sont intéressées au lien entre la localisation et le trouble, peu se sont penchées sur les effets au quotidien des lésions cérébrales sur les compétences numériques : concrètement, quelles tâches les patients sont-ils capables ou ne sont-ils plus capables de réaliser ?

L'étude a été menée auprès de 175 patients italiens souffrant de pathologie dégénérative, de lésions cérébrales suite à traumatisme crânien ou suite à des AVC, et de 148 sujets contrôle de même nationalité.

Les questions auxquelles cette étude a tenté de répondre : 1) jusqu'à quel point ces déficits spécifiques en calcul sont liés aux difficultés mesurées par les échelles plus globales, comme l'Instrumental Activities of Daily Living, IADL (Lawton and Brody, 1969; Katz, 1983)(83) 2) dans quelle mesure des détériorations générales des fonctions cognitives (comme mesurées dans les outils cliniques standards comme le MMSE) intègrent-elles les déficits numériques ?

Pour cette étude, 4 instruments ont été utilisés :

- Un questionnaire patient (se veut écologique) : auto-évaluation des déficits numériques (ex : « *Faites-vous les courses vous-même ? » « Pouvez-vous composez seul un numéro de téléphone ?* »…) ;
- Un questionnaire soignant, en miroir, ce qui permet de mesurer l'écart de perception des difficultés ;
- Un test informel (évaluation macro et dépistage, qui se veut écologique), abordant les questions du temps (« *Quelle est la date ?* »), de mesures de quantités (« *Quelle quantité de pâtes moyenne nécessaire pour une personne ?* »), le transport (« *Quelle distance entre chez vous et l'hôpital* ? »), la communication (« *Possédez-vous votre propre téléphone mobile* ? »), les connaissances générales (« *Combien de jours dans une semaine ?* »), et l'argent («*Coût d'une voiture* ? »).

  Les domaines abordés et les questions ont été choisis à partir de la littérature, des tests existants, et des plaintes les plus fréquentes des patients. Les réponses acceptent une marge quand il ne s'agit pas d'une réponse exacte (coût d'une voiture versus nombre de jours de la semaine).
- Si besoin, un test formel, analytique (créé à partir de batteries existantes, cf. le NPC de Delazer) :

- compréhension des nombres
- lire et écrire des chiffres arabes
- calcul mental
- calcul écrit : principes arithmétiques et procédures de calcul

Cet outil a été passé en parallèle de la MOCA, du MMSE et de l'IADL.

Le NADL a pu être validé, et ses qualités psychométriques testées sur un grand nombre de patients présentant des pathologies variées. L'étude a conclu que les patients tendent à surestimer leurs capacités par rapport à l'évaluation de ces mêmes capacités par leurs soignants et proches. Or cette dernière évaluation semble davantage refléter la réalité des déficits. La passation et la comparaison des 2 premiers questionnaires (patients versus soignant) pourraient donc permettre d'évaluer rapidement la nécessité de tester plus en détails les habiletés numériques en cas d'écart significatif.
L'intérêt de cette étude réside également dans la comparaison des résultats pour des patients souffrant de différentes pathologies, avec des ébauches de « profils numériques », comme nous souhaiterions pouvoir le faire avec la B.E.N.Q.

Chapitre II
PARTIE PRATIQUE

I. Problématique

Les qualités psychométriques de la B.E.N.Q. ont été retravaillées (Villain 2009)(90) puis le test a été normalisé auprès d'une population de 126 personnes (Bernard et coll. 2012)(16), ce qui a permis de l'éditer (Ortho Éditions). Les normes sont stratifiées par niveau socio-culturel (cf. ANNEXE C). Cependant, il restait à valider l'outil auprès d'un plus grand échantillon de patients cérébrolésés. Ce mémoire s'inscrit donc dans la suite des travaux de Bernard et Hurteaux en 2012.

II. Présentation des hypothèses et objectifs de travail

2.1. Objectifs

- L'objectif principal de ce mémoire est de valider la B.E.N.Q. auprès d'un plus grand échantillon de patients cérébrolésés (patients victimes d'AVC, traumatisés crâniens, aphasiques, syndromes dysexécutifs…) et d'analyser les résultats quantitativement par profil (NSC, localisation lésionnelle, type de lésion…), en scores et en temps ;
- Nos objectifs secondaires sont de :
    - comparer les résultats avec ceux obtenus par les patients à l'ECAN, au regard des études précédentes ;
    - rapprocher les résultats des auto-évaluations (échelle EVA données chiffrées, évaluation de la Qualité de vie) et ceux à la B.E.N.Q.;
    - étudier les liens entre les résultats à la B.E.N.Q. et ceux des batteries d'évaluation de la communication et du langage (BDAE, ECVB) et des mesures fonctionnelles (Barthel, MIF).

2.2. Hypothèses

- **Hypothèse 1** : vérifier la sensibilité de l'outil auprès des patients cérébrolésés : les résultats des patients à la B.E.N.Q. sont significativement inférieurs en scores et/ou en temps à ceux de la population normale ;

- **Hypothèse 2** : mettre en évidence une différence de profils de résultats à la B.E.N.Q. en fonction de la latéralisation de l'atteinte ;
- **Hypothèse 3** : mettre en évidence une différence de profils de résultats à la B.E.N.Q. entre les populations de patients vasculaires et de traumatisés crâniens ;
- **Hypothèse 4** : vérifier sur une population plus importante que les résultats de la B.E.N.Q. sont corrélés aux résultats de l'ECAN ;
- **Hypothèse 5** : mettre en évidence un lien de corrélation entre les résultats de la B.E.N.Q. et les auto-évaluations des patients.

III. Méthodologie

3.1. Population étudiée

L'étude a porté sur une population de patients cérébrolésés, victimes d'un accident vasculaire cérébral (AVC) ou d'un traumatisme crânien (TC), retournés chez eux et suivis en hôpital de jour (présentant donc un certain degré d'autonomie) et âgés d'au moins 18 ans. Nous avons sélectionné des patients ayant une bonne maîtrise de la langue française, exclu tout patient présentant un antécédent psychiatrique ou neurologique. Nous n'avions pas de critère de sexe, de niveau socio-culturel ni de délai entre l'accident et le test.
Nous avons repris les données de patients faisant partie de précédentes études sur la B.E.N.Q., et interrogé de nouveaux patients, suivis dans les hôpitaux de la Pitié Salpêtrière, de Garches-Raymond Poincaré et du centre hospitalier Pellegrin à Bordeaux. Les patients ont été vus par Hélène Robert, interne en dernière année de médecine à la Salpêtrière, Oriane Pommé, étudiante en 4ème année d'orthophonie, et moi-même.

3.2.Le protocole de passation

3.2.1. Le questionnaire médical

a) Présentation des différentes évaluations médicales

Quand cela a été possible, la B.E.N.Q. a été administrée en même temps qu'un questionnaire médical complet intégrant des évaluations de la communication et du langage (auto-évaluation : ECVB ; évaluation par le thérapeute : échelle de gravité de l'aphasie du BDAE), des données neuropsychologiques (MOCA, BREF) et des évaluations fonctionnelles (MIF, Barthel). La présentation de ces tests figure en ANNEXE A.

Modalités de passation : soit les résultats de ces tests figuraient dans le dossier médical du patient, soit il a été nécessaire de les administrer.

b) Intérêt des évaluations médicales dans le cadre de la validation de la B.E.N.Q.

Nous avons choisi d'étudier si certaines évaluations neuropsychologiques, de la communication et du langage ou fonctionnelles très souvent utilisées à l'hôpital étaient corrélées aux résultats de la B.E.N.Q. L'objectif était double : 1) vérifier dans quelle mesure la B.E.N.Q. est corrélée à ces évaluations qui mesurent des fonctions pouvant avoir directement ou indirectement un lien avec les compétences numériques, 2) vérifier si l'on peut obtenir des indications issues de ces tests quant à l'utilité de faire passer la B.E.N.Q. aux patients en fonction de leurs réponses aux questions portant sur les habiletés numériques.

3.2.2. Les questionnaires sur les compétences numériques

a) L'ECAN

L'**É**valuation **C**linique des **A**ptitudes **N**umériques est un outil analytique d'évaluation des compétences numériques et arithmétiques élaboré par le Dr Auzou à partir du NPC de Delazer et Girelli. L'ECAN a été mis au point dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie en 2011 encadré par le Dr Auzou (Lavoix et coll. 2011)(7) puis normalisé en 2013 sur une population de 423 sujets (Galibourg 2013)(45). Il propose 36 tâches chronométrées explorant 4 grands domaines que sont la connaissance des nombres, les transcodages, le calcul et les connaissances usuelles (ANNEXE D).

Les normes sont données en *scores seuils* (centiles 10 et 90) par classes d'âge (18-39 ans, 40-54 ans, 55-69 ans et plus de 70 ans) et par niveau socio-culturel (NSC1 : inférieur au bac et NSC2 et 3 : égal ou supérieur au bac). Ces classes d'âge et ces NSC ne correspondent pas aux découpages de la B.E.N.Q., et ces scores seuils sont donnés par item mais aucun seuil n'est donné par regroupement d'items ni au global. Pour ces raisons (en plus des questions de taille d'échantillon), nous avons étudié les résultats des patients individuellement (z-scores), puis nous avons réalisé des analyses de corrélations de rangs entre les résultats de la B.E.N.Q. et ceux de l'ECAN.

b) Les auto-évaluations : EVA Données chiffrées et Qualité de vie

Il est demandé au patient de se positionner sur une échelle visuelle analogique (sous la forme d'une ligne non graduée de 10 cm), en répondant à la question : « *Avez-vous des*

difficultés concernant les nombres ? ». L'échelle va de « *Pas du tout* » (à gauche) à « *Énormément* » (à droite), et figure en ANNEXE A.

Le questionnaire de Qualité de vie (ANNEXE A) porte sur le *degré de satisfaction du patient* par rapport à sa vie actuelle, en intégrant le domaine familial, professionnel et social (échelle graduée de 10 « Très satisfait » à 0 « Pas du tout satisfait »).

c) La B.E.N.Q. : Présentation des épreuves

Épreuves	Scores max	Subtests	Descriptif de l'épreuve
Lecture de l'heure	4	– Cadrans analogiques – Cadrans digitaux	Le patient doit lire l'heure oralement sur les photos de 4 **cadrans analogiques** et 4 cadrans digitaux.
Courses	9	– Évaluation du prix d'articles courants – Calcul approximatif d'un montant total – Paiement en espèces d'une somme exacte – Vérification d'un montant total à la calculatrice	Le patient doit **évaluer oralement** le prix de 4 articles, puis en **choix multiple** en cas d'échec. Il doit ensuite **estimer** le montant total d'une liste de courses sur laquelle figurent le prix à l'unité et la quantité à acheter. Il doit ensuite **payer** la somme estimée avec de la monnaie et **vérifier** le montant total du ticket à la **calculatrice**.
Chèques	6	– Calcul d'un pourcentage – Paiement par chèque d'une somme fournie en code oral	Le patient doit **calculer** (oral et/ou écrit) **un pourcentage** de réduction pour acheter un meuble. Puis on lui donne oralement le montant exact afin qu'il **rédige** un chèque pour l'achat.
Rendez-vous	9	– Calcul d'une durée – Repérage date et heure sur un agenda – Écriture sous dictée de coordonnées – Donner ses propres coordonnées	Le patient doit **calculer la date** d'un rendez-vous et la **situer** dans un **agenda**. On lui demande ensuite de **noter** nos coordonnées par écrit et de nous **indiquer** les siennes oralement.
Cinéma	4	– Choix d'un horaire en fonction de données temporelles – Vérification et calcul de monnaie rendue	Le patient doit choisir un film et son horaire en **fonction de contraintes temporelles** puis **vérifier la monnaie** rendue sur le prix de la place.
Digicode	1	– Composition d'un code donné à l'oral	Le patient doit **composer un code** donné oralement sur le dessin d'un digicode
Recette de cuisine	2	– Placement de quantités sur une échelle	Le patient doit indiquer sur un dessin de verre doseur la **quantité** pour 2 ingrédients (dont une conversion nécessaire) d'une recette.
Lecture de données chiffrées	5	– Lecture de coordonnées – Lecture de phrases contenant des données chiffrées	Le patient doit **lire** des phrases comportant des données chiffrées en numéraux arabes et chiffres romains.

Tableau 1 : B.E.N.Q. – Présentation des épreuves

IV. Résultats

4.1.Caractéristiques de la population

L'échantillon est composé de 19 hommes et 12 femmes. Le patient le plus jeune est un homme de 21 ans et le plus âgé une femme de 88 ans. L'âge moyen est de 50 ans (+/- 17,9 ans) avec une représentation de toutes les classes d'âge. Les niveaux sociaux-culturels « bas » (inférieur ou égal au brevet) et « hauts » (études supérieures) sont les plus représentés. Les patients victimes d'un AVC sont les plus nombreux (27 AVC / 4 TC), avec une majorité de lésions localisées à gauche (17).

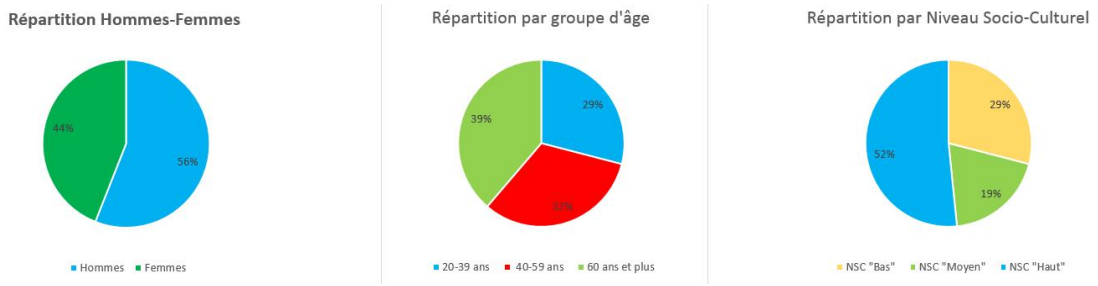


Figure 5 : caractéristiques de l'échantillon en sexe, âge et niveau socio-culturel

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des patients de notre étude :

Patient	Age	Sexe	NSC	Étiologie	Latéralisation de la lésion	Latéralité	Délai dpuis accident
1	*62*	*H*	*H*	AIC du territoire sylvien profond et superficiel	*Droite*	*Droitier*	*5 mois*
2	*41*	*H*	*H*	Traumatisme crânien	*Bilatérale, plus sévère à gauche*	*Droitier*	*14 mois*
3	*55*	*H*	*H*	AIC sylvien pariéto-temporal	*Droite*	*Droitier*	*5 mois*
4	*24*	*F*	*H*	Hémorragie méningée inter-hémisphérique		*Droitière*	*11 mois*
5	*22*	*H*	*H*	TC : hématome extra dural fronto-temporal, sous-dural fronto-orbitaire, brèche ostéoméningée	*Dominante gauche*	*Droitier*	*5 mois*
6	*81*	*H*	*M*	AIC sylvien supérieur et profond	*Droite*	*Droitier*	*9 mois*
7	*55*	*H*	*B*	AIC sylvien étendu	*Gauche*	*Ambidextre*	*12 mois*
8	*62*	*F*	*B*	AVC sylvien	*Gauche*	*Droitière*	*5 mois*
9	*53*	*H*	*M*	AVC capsulo-thalamique	*Gauche*	*Droitier*	*6 mois*
10	*64*	*F*	*B*	AIC sylvien	*Gauche*	*Droitière*	*8 mois*
11	*46*	*H*	*H*	AVC jonctionnel carotidien	*Droite*	*Droitier*	*10 mois*
12	*67*	*F*	*H*	AVC sylvien	*Gauche*	*Droitière*	*4,5 mois*
13	*54*	*F*	*B*	AIC de l'artère carotidienne gauche	*Gauche*	*Droitière*	*3 mois*
14	*70*	*H*	*B*	AIC transformation hémorragique de l'artère sylvienne postérieure	*Gauche*	*Ambidextre*	*5 mois*
15	*47*	*F*	*M*	Anévrisme de l'artère carotidienne moyenne	*Droite*	*Droitière*	*3,5 mois*
16	*67*	*H*	*H*	Dissection de l'artère carotidienne moyenne	*Gauche*	*Gaucher*	*85 mois*
17	*63*	*H*	*B*	AVC de l'artère sylvienne postérieure	*Droite*	*Droitier*	*0,5 mois*

Patient	Age	Sexe	NSC	Étiologie	Latéralisation de la lésion	Latéralité	Délai dpuis accident
18	*63*	*H*	*B*	AIC avec transf° hémorragique de l'artère carotidienne moyenne	*Droite*	*Droitier*	*3 mois*
19	*28*	*F*	*H*	AVC de l'artère carotidienne moyenne	*Gauche*	*Droitière*	*9 mois*
20	*29*	*H*	*H*	AVC de l'artère carotidienne postérieure	*Gauche*	*Droitier*	*8 mois*
21	*32*	*F*	*H*	AIC avec transf° hémorragique de l'artère carotidienne moyenne	*Gauche*	*Droitière*	*12 mois*
22	*53*	*H*	*H*	AVC de l'artère carotidienne moyenne	*Gauche*	*Droitier*	*12 mois*
23	*54*	*F*	*B*	AVC de l'artère carotidienne moyenne	*Droite*	*Droitière*	*5,5 mois*
24	*34*	*H*	*H*	Traumatisme crânien : hématome extradural temporal et occipital		*Droitier*	*9 mois*
25	*21*	*H*	*M*	Traumatisme crânio-facial		*Droitier*	*8 mois*
26	*43*	*F*	*H*	AIC sylvien superficiel et profond	*Gauche*	*Droitière*	*20 mois*
27	*25*	*F*	*H*	AVC sylvien	*Droite*	*Droitière*	*2 mois*
28	*64*	*H*	*M*	AIC sylvien	*Gauche*	*Droitier*	*9 mois*
29	*33*	*H*	*M*	AVC sylvien total étendu	*Gauche*	*Droitier*	*6 mois*
30	*88*	*F*	*M*	AIC thalamique antérieur	*Gauche*	*Droitier*	*6 mois*
31	*60*	*H*	*H*	AIC avec plages d'ischémie sylviennes superficielles et profondes	*Gauche*	*Droitier*	*6 mois*

Tableau 2 : Caractéristiques des 31 patients de l'échantillon

4.2.Description des résultats d'ensemble du questionnaire médical

La totalité des évaluations figurant dans le questionnaire médical n'a pu être réalisée que pour 18 patients cérébrolésés sur les 31, en raison de la durée de passation (de 2 à 5 séances par patient), de la fatigabilité des patients, de leur disponibilité et de la longueur de certains tests (ECAN en particulier). Nous avons également repris des données qui ne comportaient pas l'ensemble du questionnaire médical. Nous avons choisi de stopper la passation pour une patiente (qui ne figure donc pas dans l'échantillon) en raison de ses trop grandes difficultés de langage et de son ressenti douloureux face à ses difficultés.

4.2.1. Évaluations du langage et de la communication (ECVB, échelle de gravité de l'aphasie du BDAE)

Le score moyen à l'échelle d'auto-évaluation **ECVB** était de **70/102** (+/- 17,5), avec certains scores particulièrement faibles et présentant une forte variabilité sur les subtests « Achats » (moy = 6,3/12 ; ET = 4,1), Relations sociales » (moy = 9,9/15 ; ET = 2,8), « Conversation » (moy = 14,1/21 ; ET = 4,8), « Téléphone » (moy = 14,7/21 ; ET = 5,1). Les patients nous ont déclaré se sentir particulièrement en difficulté lorsqu'il s'agissait de parler avec des inconnus, en face à face ou au téléphone, d'aborder des sujets complexes ou abstraits, d'utiliser leur chéquier, leur carte bancaire ou pour certains, de lire l'heure.
Le score moyen à l'échelle de gravité de l'aphasie d'après le test de conversation et de langage spontané du **BDAE** était de **3,43/5** (+/- 1,67), mais avec des scores allant de 1

(expression très fragmentaire) à 5 (handicap linguistique à peine perceptible). Il est à noter que les 10 patients présentant une aphasie jugée sévère (scores de 1 ou 2 à l'échelle du BDAE) sont tous des patients cérébrolésés gauches.

4.2.2. Tests neuropsychologiques (MOCA, BREF)

Ces informations ont dans la plupart des cas été récupérées d'après le dossier médical du patient. Le score moyen à la **MOCA** était de **22/30** (+/- 6,92) ; il existait donc une importante variabilité, avec des scores allant de 5 à 30 (la limite pathologique généralement admise se situe à 26/30). Le score moyen à la **BREF** était de **13,8/18** (+/- 3,18), avec des scores allant de 6 à 18 (un score en-deçà de 16 -ou 15- selon le niveau socio-culturel est considéré comme pathologique).

4.2.3. Évaluations fonctionnelles (Barthel, MIF)

Ces évaluations ont été relevées dans le dossier médical du patient. Le score retenu pour la MIF était le score de sortie (le score à l'arrivée du patient -généralement très chuté- n'aurait en effet pas été pertinent pour notre étude puisque nous voyions des patients retournés chez eux). Le score moyen à l'indice de **Barthel** était de **90/100** (+/-11) et à la **MIF** de **109/126** (+/-12). Les patients de notre étude étaient en effet retournés vivre chez eux et suivis en hôpital de jour, donc avec un niveau d'autonomie fonctionnelle correct.

4.2.4. Auto-évaluations (EVA Données chiffrées, Échelle de qualité de vie)

Sur l'échelle analogique graduée de **Qualité de vie**, les patients se situent en moyenne à **6,39/10** (+/- 2,15), soit un degré de satisfaction correct (10 étant le maximum de satisfaction). À l'échelle **EVA Données chiffrées** (ligne non graduée allant de « Pas du tout de difficultés concernant les nombres » à « Énormément de difficultés »), ils se situent en moyenne à **2,97cm/10** (+/- 2,95cm), soit le sentiment d'avoir assez peu de difficultés avec les chiffres.

4.3.Validité de construit de la B.E.N.Q.

La validité de construit de la B.E.N.Q. a déjà été testée par Villain (2015)(89) par le calcul d'un indice de discrimination des subtests, calculé d'après Kelley (58). Ce mémoire est l'occasion de tester à nouveau le pouvoir de discrimination des subtests sur un échantillon plus conséquent. Nous avons donc repris les 126 sujets de la normalisation et avons ajouté les scores de nos 31 patients afin de recalculer ces indices de

discrimination, basés sur les 27% des sujets ayant obtenu les scores totaux les plus faibles et les 27% les plus forts. L'indice de discrimination est issu de la différence entre les indices de difficulté des items, ratios entre le score moyen des groupes dits « faibles » et « forts » et la note maximale possible à l'item.

Le graphe ci-dessous présente les subtests de la B.E.N.Q. classés en fonction de leur indice de discrimination. Nous obtenons 3 subtests ayant un indice jugé « très bon » (>0,4) et 3 ayant un indice jugé « bon » (entre 0,2 et 0,4).

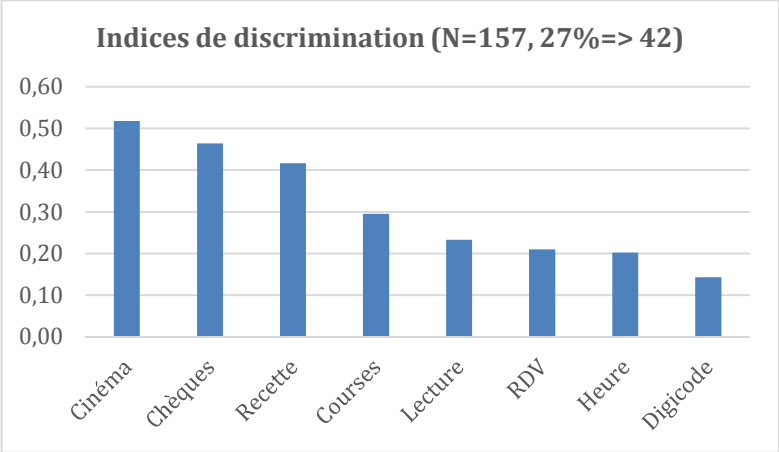


Figure 6 : Indices de discrimination des épreuves de la B.E.N.Q.

4.4.Analyse quantitative des résultats à la B.E.N.Q.

4.4.1. Analyse des scores à la B.E.N.Q. (normes présentées en ANNEXE C)

La taille de notre échantillon reste petite (N=31) et sa distribution ne suit pas une loi normale (test de normalité de Kolmogorov-Smirnov, D=0,234 avec une probabilité nulle (p=0) que la distribution suive une loi normale). Nous utiliserons donc des tests non-paramétriques lors de notre étude.

- La moyenne des scores des 31 patients à la B.E.N.Q. est de 28,32/40 avec une grande variabilité de résultats (ET = 10,7). La moyenne par niveau socio-culturel va en effet de 23,89/40 pour le niveau « bas » à 30,44/40 pour le niveau dit « haut », avec, là encore, une variabilité de chaque résultat (cf. tableau ci-après).
- La médiane se situe à 33,5/40, avec 10% des patients obtenant une note inférieure à 8,5/40 et 10% une note supérieure à 38/40.

Subtests	Heure	Courses	Chèques	RDV	Cinéma	Digicode	Recette	Lecture	*SCORE TOTAL*
Score max	4	9	6	9	4	1	2	5	**40**
Moyenne	3,23	6,53	4	6,47	2,32	0,77	1,19	3,74	**28,32**
Écart-Type	1,35	1,96	2	2,94	1,42	0,42	0,75	1,88	**10,70**
Moyenne et Écart type/ NSC									
Moyenne / NSC Bas (N=9)	3	5,83	3,22	5,28	1,89	0,67	0,44*	3,44	**23,89***
ET / NSC Bas	*1,48*	*1,71*	*2,39*	*2,88*	*1,45*	*0,50*	*0,72*	*1,81*	***10,79***
Moyenne / NSC Moyen (N=6)	3,17	6,33	4,33	6,67	2,50	0,83	1,33*	4	**29,33**
ET / NSC Moyen	*1,60*	*2,46*	*2,42*	*3,44*	*1,64*	*0,41*	*0,52*	*2*	***12,14***
Moyenne / NSC Haut (N=16)	3,38	7	4,31	7,06	2,50	0,81	1,56*	3,81	**30,44***
ET / NSC Haut	*1,26*	*1,88*	*1,58*	*2,77*	*1,37*	*0,40*	*0,51*	*1,97*	***10,05***
Moyenne des Z-scores / épreuve	**-3,80**	**-1,25**	**-0,99**	**-5**	**-1,34**	**-1,31**	**-0,17**	**-3,11**	**-2,09**

Tableau 3 *: scores moyens à la B.E.N.Q. (les cases en rouge indiquent les scores inférieurs ou égaux au centile 5).*
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon par paires, p<0,05.*

- Le tableau ci-dessous présente les *scores* détaillés des 31 patients à la B.E.N.Q. 14 patients sur 31 obtiennent un score global pathologique (i.e. < percentile 5), mais parmi les 17 dont le score global n'est pas jugé pathologique, seuls 5 patients sont dans la norme pour toutes les épreuves (n° patients encadrés en vert). À noter que parmi ces 5, deux sont des patients traumatisés crâniens (patients 2 et 24).

Patients	NSC	Heure /4	Courses /9	Chèque /6	RDV /9	Cinéma /4	Digicode /1	Recette /2	Lecture données chiffrées /5	Score total /40	Z-score
1	3	4	8,5	5	6	2	1	2	5	33,5	-2,28
2	3	4	7	6	9	4	1	2	5	38,0	0,22
3	3	4	8,5	6	7	3	1	1	5	35,5	-1,17
4	3	4	7	6	9	2	1	2	5	36,0	-0,89
5	3	4	6	4	8	3	1	1	5	32,0	-3,11
6	2	4	4	6	6	1	1	1	5	28,0	-2,85
7	1	3,5	7,5	5	6	3	1	1	4	31,0	-0,58
8	1	3,5	4	0	2	1	0	0	1	11,5	-5,32
9	2	4	8	6	9	4	1	1	5	38	0,85
10	1	0	4	1	1	2	0	0	0	8	-6,17
11	3	4	8,5	5	8	1	1	1	5	33,5	-2,28
12	3	0	2	1	1	0	1	1	0	6	-17,56
13	1	4	8	4	6,5	4	1	1	3	31,5	-0,46
14	1	1	3,5	0	2	0	0	0	4	10,5	-5,56
15	2	4	7,5	6	8	1	1	2	5	34,5	-0,44
16	3	2	4,5	3	5	2	1	2	3	22,5	-8,39
17	1	4	7	6	7	3	1	2	5	35	0,39
18	1	3	7	4	6	1	1	0	4	26	-1,80
19	3	3	4,5	2	5	2	0	1	0	17,5	-11,17
20	3	4	8	4	9	2	1	2	5	35	-1,44
21	3	4	8	5	9	4	1	1	4	36	-0,89
22	3	1	7	2	1	0	0	2	0	13	-13,67
23	1	4	6,5	6	8	3	1	0	5	33,5	0,02
24	3	4	7,5	5	9	4	1	2	5	37,5	-0,06
25	2	3	8,5	5	8	4	1	2	4	35,5	-0,07
26	3	4	8,5	4	9	3	0	1	4	33,5	-2,28
27	3	4	8,5	5	9	4	1	2	5	38,5	0,50
28	2	4	7,5	3	9	4	1	1	5	34,5	-0,44
29	2	0	2,5	0	0	1	0	1	0	5,5	-11,19
30	1	4	5	3	9	0	1	0	5	28	-1,31
31	3	4	8	6	9	4	1	2	5	39	0,78

Tableau 4 : scores et Z-scores par subtests à la B.E.N.Q *(les cases en rouge indiquent les scores inférieurs ou égaux au centile 5).* En encadré vert, patients ayant un score total dans la norme.

- Classement des épreuves :

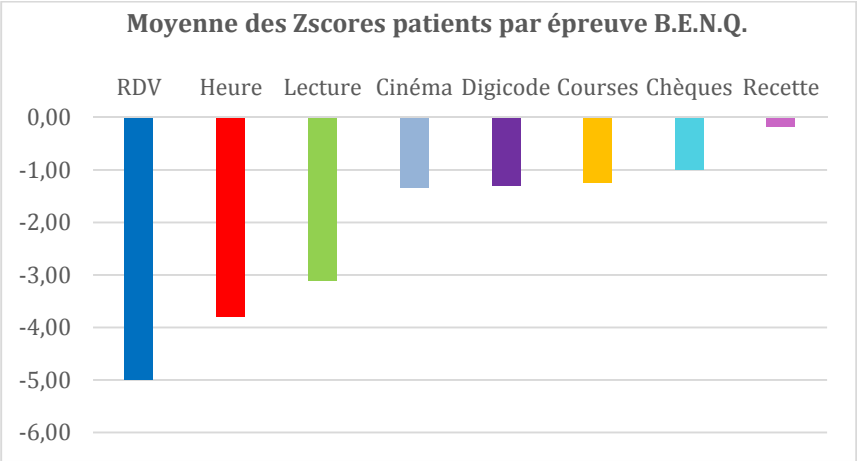


Figure 7 : Moyenne des Z-scores des patients par épreuves de la B.E.N.Q.

Les épreuves les plus échouées par les 31 patients étudiés sont l'épreuve du RDV, de l'heure et de la lecture de chiffres, épreuves de transcodage mettant particulièrement en difficulté les patients aphasiques.

4.4.2. Analyse des temps à la B.E.N.Q. (normes présentées en ANNEXE C)

La moyenne du temps de passation global est de 985 s (16 min), mais avec de grandes différences entre les patients puisque le plus rapide a mis un peu plus de 7 min (432 s) et le plus lent 44 min (2657 s).
La médiane se situe à 837 s, avec 10% ayant mis moins de 450 s et 10% plus de 1983 s.

Subtests	Heure	Courses	Chèques	RDV	Cinéma	Digicode	Recette	Lecture	*TEMPS TOTAL*
Moyenne	**50**	**287**	**215**	**216**	**109**	**16**	**76**	**35**	**985**
Écart-Type	43	206	129	127	88	22	61	31	**565**
Moyenne et Écart type/ NSC									
Moyenne / NSC Bas (N=9)	75*	465*	270*	293	119	23	88	42	**1278***
ET / NSC Bas	*49*	*255*	*111*	*148*	*71*	*28*	*56*	*22*	***638***
Moyenne / NSC Moyen (N=6)	32	292	263	174	150	20	96	27	**1108**
ET / NSC Moyen	*18*	*184*	*202*	*78*	*163*	*30*	*107*	*17*	***795***
Moyenne / NSC Haut (N=16)	44*	184*	170*	188	89	10	61	34	**775***
ET / NSC Haut	*43*	*93*	*89*	*116*	*55*	*13*	*37*	*39*	***325***

Tableau 5 : B.E.N.Q. *Temps moyens (les cases en rouge indiquent des scores supérieurs ou égaux au centile 95).*
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon par paires, p<0,05.*

Les moyennes de chaque NSC en *temps* sont pathologiques (> centile 95), ce qui confirme vraiment l'importance de chronométrer les épreuves ; et si certains patients

individuellement ne se trouvent pas dans la zone pathologique au niveau du *score*, ils le sont au niveau du *temps* de réponse.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de chaque patient en temps par subtests à la B.E.N.Q. 20 patients ont un temps global pathologique (>percentile 95). Il est intéressant de voir que les patients ayant un *score* dans la norme (encadrés verts) sont par contre d'une lenteur jugée hors norme au niveau d'au moins un subtest. Inversement, les 3 patients ayant un *temps* normal sur tous les subtests (n° patients encadrés noir) obtiennent un *score* pathologique à une question au moins.

Patients	NSC	Heure	Courses	Chèque	RDV	Cinéma	Digicode	Recette	Lecture données chiffrées	Temps total	Z-score
1	3	52,0	174,8	156,2	147,7	134,8	3,7	163,3	15,1	847,6	5,02
2	3	22,9	54,8	126,0	104,3	24,0	7,3	76,0	16,6	431,8	0,59
3	3	27,8	61,1	48,3	59,4	52,8	2,0	95,0	12,4	358,7	-0,18
4	3	21,8	242,0	110,6	117,3	16,0	4,3	31,3	18,2	561,6	1,97
5	3	13,8	104,9	206,7	112,3	60,1	3,7	21,9	21,4	544,7	1,79
6	2	32,6	238,8	113,0	107,9	81,8	7,0	69,5	14,9	665,3	1,67
7	1	34,8	327,9	251,7	325,5	66,2	5,2	69,2	53,0	1133,5	2,50
8	1	63,7	343,6	-	171,2	99,3	80,0	72,4	84,0	644,0	0,49
9	2	25,2	138,5	121,9	158,9	50,1	4,8	13,4	13,1	526,0	0,65
10	1	126,6	517,6	374,0	299,2	226,2	43,5	45,3	-	1333,0	3,33
11	3	21,6	172,1	81,5	94,2	133,6	3,5	61,9	14,7	583,0	2,20
12	3	49,1	291,9	86,1	311,0	192,3	50,1	109,4	59,6	1063,0	7,31
13	1	35,9	361,7	155,5	271,6	33,5	0,4	37,6	50,0	946,2	1,73
14	1	121,0	810,8	355,0	472,0	110,0	10,0	181,0	38,5	2098,3	6,47
15	2	48,4	176,6	126,3	118,8	95,7	5,9	67,3	15,2	654,2	1,59
16	3	172,0	243,0	127,0	340,0	133,0	18,0	43,0	61,0	1137,0	8,10
17	1	45,9	206,0	196,4	139,4	85,5	4,9	121,5	16,2	815,8	1,20
18	1	162,0	649,0	219,0	273,0	144,0	12,0	36,0	30,0	1525,0	4,12
19	3	120,0	387,9	287,2	333,6	61,9	7,3	49,3	169,6	1416,4	11,07
20	3	15,7	123,7	153,2	87,4	103,6	4,9	54,4	20,2	563,1	1,99
21	3	20,8	129,1	289,6	164,0	43,0	5,3	37,1	22,2	711,1	3,56
22	3	38,7	230,4	187,2	433,8	165,0	7,9	78,8	35,2	1177,0	8,52
23	1	30,2	130,1	154,7	120,0	69,2	4,6	59,3	19,1	587,1	0,26
24	3	22,6	181,7	363,0	137,5	68,7	5,4	43,1	15,2	837,3	4,91
25	2	38,9	292,2	275,2	205,7	52,0	3,4	87,5	22,7	977,5	3,95
26	3	28,8	196,5	175,5	232,9	48,5	3,9	34,6	24,7	745,2	3,93
27	3	40,3	68,0	75,5	66,5	37,9	1,7	21,1	10,4	321,3	-0,58
28	2	45,0	257,0	302,0	317,0	144,0	21,0	30,0	49,0	1165,0	5,31
29	2	-	651,0	639,0	140,0	474,0	79,0	307,0	47,0	2657,0	16,20
30	1	54,0	842,0	454,0	563,0	237,0	50,0	170,0	47,0	2416,0	7,78
31	3	29,0	282,0	249,0	268,0	144,0	35,0	63,0	35,0	1105,0	7,76

Tableau 6 : B.E.N.Q.- Temps et Z-score par subtests *(les cases en rouge indiquent les temps supérieurs ou égaux au centile 95)*. En encadré vert, patients ayant un score total dans la norme, en noir, patients n'ayant aucun temps hors norme.

4.4.3. Analyse par patients et profils (B.E.N.Q.)

- **Comparaisons selon le niveau socio-culturel**

On note que les moyennes globales des NSC 1 et des NSC 3 sont significativement différentes l'une de l'autre en scores (p=0,033) et en temps (p=0,034), selon les résultats du test non paramétrique de Wilcoxon sur de faibles échantillons.

- **Analyses selon la localisation lésionnelle (B.E.N.Q.)**

Localisation lésionnelle	Effectif	Moyenne globale SCORE /40	Écart-type SCORE	Moyenne globale TEMPS	Écart-type TEMPS
Droite	9	33,55	3,87	720s*	337
Gauche	17	24,39	12,43	1182s*	631

Tableau 7 *:* B.E.N.Q.- *Scores et temps moyens selon la localisation lésionnelle*
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

Sont exclus de cette analyse : les patients souffrant d'un traumatisme crânien (car même si une dominance lésionnelle peut être observée, il existe des lésions diffuses bilatéralement), et le patient ayant eu une hémorragie inter-hémisphérique. Les patients obtiennent des *temps moyens* significativement différents selon la localisation de leur lésion (test non paramétrique de Wilcoxon, comparaison par paires, Z=2,04 et p=0,042) à la défaveur des patients cérébrolésés gauches, alors que ce n'est pas vrai pour le *score moyen* (pas de différence significative). Cependant, si l'on regarde les scores moyens aux subtests de lecture de l'heure, de rédaction des chèques, du digicode et de lecture de données chiffrées, on observe des différences statistiquement significatives entre les patients cérébrolésés gauches et les patients cérébrolésés droits, avec des scores inférieurs pour les lésions gauches.

N droits = 9 *N gauches = 17*	Heure (/4)	Courses (/9)	Chèque (/6)	RDV (/9)	Cinéma (/4)	Digicode (/1)	Recette (/2)	Lecture données chiff (/5)
Scores moyens patients cérébrolésés **droits**	3,9*	7,4	5,4*	7,4	2,3	1*	1,3	4,9*
Scores moyens patients cérébrolésés **Gauches**	2,8*	6	3,1*	5,6	2,2	0,6*	1,1	2,9*

Tableau 8 : B.E.N.Q.- Scores moyens par subtests selon la localisation lésionnelle
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

- **Analyses selon le type de lésion (AVC, TC)**

Type de lésion	Effectif	Moyenne globale SCORE/40	Écart-type SCORE	Moyenne globale TEMPS BENQ	Écart-type TEMPS
AVC	27	27,22	11,02	1028s	588
TC	4	35,75	2,72	698s	253

Tableau 9 : B.E.N.Q.- Scores et temps moyens des patients selon le type de lésion (AVC, TC)
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

Nous n'avons pu inclure que 4 patients traumatisés crâniens dans notre étude, ce qui nous empêche de valider une éventuelle différence significative dans les résultats (p=0,23 pour le score et p=0,09 pour le temps). Nous pouvons cependant nous poser la question de l'existence d'une *tendance*, dans la mesure où le score global moyen des patients TC est dans la norme (35,75/40 pour une norme de 35,58/40), alors que

la moyenne de la population des patients AVC est pathologique, avec un Z-score de -2,4. Concernant le temps, les 2 populations sont pathologiques, avec un Z-score de 3,25 pour les patients victimes d'un AVC et de 1,4 pour les patients victimes d'un TC.

4.4.4. Analyse par processus (Transcodage, calcul mental et estimation)

Enfin, il nous a semblé intéressant de poursuivre l'analyse des résultats par grands processus de calcul tels que proposés par la B.E.N.Q. en regroupant certaines épreuves entre elles (cf. ANNEXE H).

Il s'avère que les *scores* moyens par processus ne sont pas significativement différents entre les patients cérébrolésés droits et les gauches (moy CLD = 23,5/25 ; moy CLG = 16/25, p= 0,06). Cependant, on relève des *temps* moyens de réponse significativement différents entre ces 2 populations pour le processus de transcodage et de calcul.

4.5.Analyse des résultats à l'ECAN

4.5.1. Analyse quantitative des résultats à l'ECAN

- **Analyse des scores à l'ECAN**

Le tableau suivant présente le détail des scores de chaque patient aux items de l'ECAN. Il est présenté en ANNEXE F en taille plus lisible, mais les cases en couleur permettent ici d'identifier rapidement les scores en-deçà du percentile 10, selon le niveau socio-culturel et la classe d'âge.

	PATIENTS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
A-LES NOMBRES	1-Comptage oral	20	20	20	20	20	20	20	3	19	_	15	3	20	5	20	19	20	18	0	15	20	9	20	20	20	20	20	10	0*	19*	20*
	2-Dénombrement	10	10	10	10	10	8	8	6	10	5	9	7	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	7	9	10
	3-Compréhens° nbres	20	20	20	20	20	19	16	7	20	6	18	10	17	14	20	12	19	17	7	19	17	0	13	20	19	17	20	19	2	18	20
	4-Jugement de parité	10	10	10	10	10	10	9	9	10	9	10	9	10	7	10	10	10	10	4	10	10	4	10	10	10	6	10	10	10	7	10
	5-Jugement grandeur	58	60	55	60	55	60	56	34	58	37	56	35	58	42	58	50	58	59	36	57	59	44	59	60	56	52	60	58	36	56	58
	6-Placement échelle	9	10	8	10	10	9	7	8	10	10	5	8	10	9	9	10	9	9	7	9	10	9	6	10	10	10	10	8	10	6	9
B-LES TRANSCODAGES	1-Lecture HV de NA	20	20	20	20	20	20	20	17	19	2	18		19	8	20	9	20	20	4	19	19	0	20	20	20	20	20	20	2*	20	20
	2-Lecture HV de NVE	20	20	20	20	20	20	13	18	20	2	20		20	7	20	11	20	20	9	19	18	1	20	19	20	18	20	18	2*	19	20
	3-Dictée nombres arabes	19	19	20	20	20	18	20	4	20	3	18	7	19	8	20	16	20	20	3	20	19	1	19	20	19	18	20	20	0*	20	20
	4-Dictée de NVE	19	20	19	19	20	18	9	2	20	4	20		18	0	20	13	20	20	2	18	17	0	20	10	20	15	19	11	0*	17	20
	5-Ecriture NVE	10	9	10	10	10	10	2	1	10	2	10		9	0*	10	8	10	10	8	9	10		10	10	10	10	10	10	0*	10	10
	6-Ecriture NA	9	10	10	10	10	9	10	7	10	7	8	6	8	3	10	8	8	9	10	10	9	6	7	9	10	10	10	10	0*	9	9
	7-Production NA	8	8	9	10	10	9	10	9	9	0	9	10	9	3	8	9	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	9	9	10	10
	8-Schéma de jetons	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	9	10	10	10	9	10	9	10	10	10	9	10	9	8	10	8	10	10	10	10	9
C-CALCULS	1-Calcul mental sur FA	99	97	99	95	93	87	80	84	93	28	84		84	54	94	70	98	97	52	96	91	51	93	94	91	87	97	95	47*	93*	99
	2-Calcul mental	16	20	18	18	16	14	10	4	15		16		12	2	19	15	18	16	7	17	19	1	14	20	15	7	19	13	0*	19	19
	3-Caclul écrit	9	8	10	7	8	2	4	5	9	2	5	0	7	2	9	4	10	8	3	8	6	3	6	8	8	6	9	2	2	5	10
	4-Calcul ex.choix mult	40	40	40	40	39	38	38	38	40	38	38	21	39	35	40	34	40	40	36	40	37	35	40	40	40	40	40	40	30	40	20
	5-Calcul approx choix mult	39	40	37	40	39	38	35	28	39	24	38	2	35	25	40	34	40	39	27	40	38	26	40	39	38	36	40	40	19*	40	40
	6-Principes arithm	28	29	30	30	24	24	18	1	24	15	22		28	5	27	22	28	27	22	27	29	22	27	26	30	25	27	21	0*	20	28
	7-Résolution pbs simples	10	10	10	10	8	5	3	0	6	0	4		7	1	7	5	8	8	4	8	10	5	9	9	9	7	10	5	0*	8	7
D-CONN.	1-Connaissances sémantiques	8	10	9	9	8	7	7	4	7	4	8	0	9	6	10	5	10	10	6	8	10	5	6	9	9	9	9	10	3	9*	9
	2-Jugemt grandeur contextuelle	5	5	5	5	5	5	4	0	5	2	5	4	4	5	5	5	5	4	3	4	5	2	5	4	4	5	5	5	2	5*	5
	3-Horloges	20	19	20	20	19	14	13	15	19		17		20	5	18	18	20	17	20	20	20	19	17	19	19	20	20	14	0*	18	20

Tableau 10 : ECAN - SCORES par items. Les cases en rouge indiquent un score < percentile 10.

- **Analyse des temps à l'ECAN**

Les cases en rouge du tableau ci-dessous indiquent les temps supérieurs au percentile 90. Comme pour la B.E.N.Q., on mesure ici bien l'importance de chronométrer les épreuves, car des patients dont les scores ne sont pas pathologiques révèlent un temps de réponse qui l'est (exemple de la patiente 4 dont aucun score n'est pathologique alors que presque tous ses temps de réponse le sont).

	PATIENTS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
A-LES NOMBRES	1-Comptage oral	45,3	15,8	21,9	21,8	23,9	22,0	51,7	64,0	17,0		31,0	19*	31,8	86,8	19,1	57,6	18,7	18,9	76,6	21,6	24,8	59,3	35,3	29,5	28,11	33,04	15,31	132			
	2-Dénombrement	111	20,6	35,3	47,6	40,7	55,1	61,9	71	62	143	53	424	54,6	107,4	43,3	73,5	48,9	67,7	132,2	46,1	46,1	93,3	43,26	48	45	49,41	35,2	68	67	41	55
	3-Compréhens° nbres	104,1	81,41	112,3	91,81	86	111,9	207,9	333	76	243	101	241*	88,5	190,1	100,4	218,4	89,2	129	423	86,5	99,1	141,2	108,4	96	118,2	114,2	73,83	159	289	190	84
	4-Jugement de parité	30,7	20,4	14,3	22,4	20,2	22,8	44,7	37	23	53	23	36	19	50,8	30,7	39,1	21,4	31,7	126,3	19	18,7	77,7	20,73	24	25	50,68	23	24	179	52	43
	5-Jugement grandeur	612,2	204,8	287,2	349,9	215,3	340,7	627,5	405*	278	263*	439	390*	305,1	487,1	379,4	384,9	284,6	329,8	285,6	312,5	338,3	406,8	301,6	363	435	362,1	231	413	467	506	287
	6-Placement échelle	135,8	37,0	101,6	46,6	50,1	105,6	78	87	51	63	130	84	34,3	64,7	118,2	52	108,3	99,3	60,48	54,5	46,3	58,4	104,2	68	71	38,36	47	64	101	187	54
B-LES TRANSCODAGES	1-Lecture HV de NA	42	21,1	27	28,9	22,6	31,5	60	92	34	71*	29		78,2	80	26,1	198,8	31,8	20,3	194,7	40,8	48,7	88,2	35,49	28	39	44,44	19,82	39		58	46
	2-Lecture HV de NVE	57,8	35,3	42,56	43,3	33,2	32,6	116,1	134	29	61*	40		68,5	101,7	28,9	170,3	30,6	25,8	300	45,2	55,2	52,2	47,18	39	41	59,41	22,92	67		60	46
	3-Dictée nombres arabes	151	64,2	60,0	76,2	64,7	89,9	220,4	153*	109	109*	68	199*	115,6	365,1	67,3	122,9	72,6	238,7	175,8	68	155,3	179,4	76,15	84	95	121	53,89	268		174	166
	4-Dictée de NVE	207,5	166,4	155,5	218,0	153,5	177,2	946,4	49*	443	142*	179		323,5	41,9*	185,3	429,4	232,2	241,5	144	273,3	434,3	36,7*	210,2	277	337	429,2	157	688		390	603
	5-Ecriture NVE	69,9	52,4	56,6	78,0	62	59,0	573,1	61*	90	108*	61		131		59,8	210,4	79,7	84,7	263,4	90,9	152,6		88,66	78	121	191,2	49,9	518		131	157
	6-Ecriture NA	85	25,6	21	36,2	19,5	29,7	132,8	188	40	102	54	151*	62,3	328,5	29,2	121,6	35,8	43,4	96,63	26,1	73,1	141,8	63,49	28	36	54,54	16,22	132		59	250
	7-Production NA	134,6	46	99,3	94,2	64,9	115,7	129,6	275	67	125*	101	303	109,6	344,7	126,4	194,6	103	130,4	157,3	55,9	75,4	91,1	78,81	95	77	37	44,35	147	227	149	81
	8-Schéma de jetons	137,1	63,9	78,6	74,1	54	105,3	96,7	158	60	207	81	193	89,2	196,8	91,2	125,7	92,2	102,9	128,6	75,6	75,4	111,1	122,8	70	109	88,66	43,06	150	129	181	69
C-CALCULS	1-Calcul mental sur FA	293,2	170,7	139,5	514,6	907,8	596,9	841,1	528	269	395*	347	0	472,2	988,8	276,2	784	199,7	278,3	488,1	473,3	594,6	1082	326,7	336	619	382,5	142,6	363			264
	2-Calcul mental	347,1	158,8	97,2	293	535	907,4	565,8	182	176		292		232,9	376,5	277,6	392,3	223,7	173,3	369,6	378,4	531,8	312,4	223,6	283	452	388,3	124,7	659		216	155
	3-Calcul écrit	286,7	185,3	93,4	434	724	184,0	606,5	727	83	189*	360	137*	210,9	730,9	119,5	486,3	357,6	152,7	250,9	271,7	450,4	350,1	219,9	729	298	350	186,2	327	738	168	215
	4-Calcul ex.choix mult	139,9	76,47	83,53	140,6	117,9	226,4	357,9	388	81	218	186	378*	99	312,4	72,1	276,3	92,1	139,4	257,5	171,6	173,6	186,9	209,8	138	161	143	67,66	179	668	243	121
	5-Calcul approx choix mult	158,4	127,9	132,3	175,0	408,0	205,8	366,7	630,0	106,0	117,0	195,0		169	368,9	117,8	263,4	127,5	232,4	363,8	216,4	337	333	221,2	198	281	206	80,51	223		289	139
	6-Principes arithm	383,7	250,7	163,7	285	275	945	1123	207*	203	658	377		330	1854	337,3	401,3	325,9	675	557	262,2	305,9	550,4	606,2	308	372	362,2	223,6	850		881	304
	7-Résolution pbs simples	526,3	367,9	166,1	464	449,3	690,1	991,9	101*	232	280*	330		223,3	1250	568,7	516,3	362,5	369,3	940,3	658,6	447,8	1626	730,5	229	1257	596,3	188,8	919		483	267
D-CONN.	1-Connaissances sémantiques	100,1	46,1	45,4	52,3	59,6	60,0	115,6	174	54	72	51	168*	58,9	102,5	40,3	92,8	43,1	63,7	199,5	66,9	42,1	177,7	55,15	50	72	69	40,09	43	180		76
	2-Jugemt grandeur contextuelle	31,1	17,2	20,8	18,4	23,4	28,4	106	182	21	86	22	72	25,2	42,2	22,4	21,7	35,5	29,7	120,1	22,9	27,6	43,9	25,84	20	26	36,52	18,04	18	180		24
	3-Horloges	176,1	56,8	95	91,1	89,0	93,4	150,4	254	111		132		114,2	158	42	300	78,9	134,7	368,4	89,7	93,6	231,7	116,7	102	161	104	40	110		173	65

Tableau 11 : ECAN - TEMPS par items. Les cases en rouge indiquent un temps > percentile 90.

4.5.2. Analyse quantitative des résultats par profils à l'ECAN

- **Résultats à l'ECAN selon la localisation lésionnelle**

Localisation lésionnelle	Effectif	Moyenne globale SCORE /535	Écart-type SCORE	Moyenne globale TEMPS ECAN	Écart-type TEMPS
Droite	9	503*	21	3490	988
Gauche	17	386*	129	4598	2150

Tableau 12 : ECAN - Scores et temps moyens selon la localisation lésionnelle
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

La moyenne du score global à l'ECAN est significativement différente entre patients cérébrolésés droits (CLD) et gauches (CLG), avec un meilleur score pour les CLD. On notera la grande variabilité des résultats des patients CLG, avec un écart-type de 2150s pour une moyenne de 4598s (76 min). On ne constate pas de différence significative en termes de temps de passation entre les 2 populations.

Quand on regarde par grand processus (Nombres, Transcodages, Calcul, Connaissances), le constat est homogène, avec des *scores* moyens significativement meilleurs pour les CLD que les CLG, sauf pour le subtest Connaissances.

La seule différence significative en termes de *temps* entre les 2 populations se situe pour le subtest transcodage, à la faveur des patients cérébrolésés droits (ANNEXE G).

- **Résultats à l'ECAN selon le type de lésion**

L'échantillon de patients traumatisés crâniens est trop faible (N=4) pour obtenir une significativité statistique des différences. Cependant, on constate que les 4 patients TC obtiennent dans notre étude de meilleurs scores dans un temps moindre.

Type de lésion	Effectif	Moyenne globale SCORE /535	Écart-type SCORE	Moyenne globale TEMPS ECAN	Écart-type TEMPS
AVC	27	425	119	4271	1877
TC	4	510	10	3984	1284

Tableau 13 : ECAN - Scores et temps moyens selon le type de lésion
*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

4.6.Analyse des résultats entre la B.E.N.Q. et les autres évaluations

4.6.1. Analyse des corrélations entre la B.E.N.Q.et l'ECAN

Nous utilisons une analyse de corrélation non paramétrique de Spearman (N<50) entre échantillons appariés, basée sur les rangs. Ce coefficient varie entre -1 et 1. Le coefficient de corrélation entre les *scores totaux* obtenus à la B.E.N.Q. et à l'ECAN est ici de 0,955, ce qui indique une forte relation positive entre les 2 outils. La corrélation est significative, avec $p < 0,001$, ce qui permet d'affirmer que la relation n'est pas le fruit du hasard et que les patients sont classés dans le même ordre par les 2 outils. Au niveau du *temps*, le coefficient de corrélation est de 0,356 entre les 2 outils, avec une probabilité $p < 0,0137$. La relation est donc significative, bien que moins forte, au niveau du classement des patients selon leur temps de réponse.

4.6.2. Analyse des corrélations entre la B.E.N.Q. et les tests de communication/langage, les tests neuropsychologiques et les mesures fonctionnelles

- **Démarche**

Nous souhaitions savoir dans quelle mesure l'un -ou plusieurs- des tests du questionnaire médical pouvait prédire les résultats à la B.E.N.Q. Outre l'étude de la validité concurrente avec d'autres outils, l'intérêt clinique sous-jacent serait d'avoir un indicateur qui nous alerterait sur l'intérêt de faire passer la B.E.N.Q. à tel ou tel patient.
Dans un premier temps, nous avons réalisé une analyse des corrélations (non paramétrique, de Spearman) entre la B.E.N.Q. et les différents autres tests, afin de mettre en évidence d'éventuelles relations. Nous avons ainsi identifié quels tests étaient significativement corrélés à la B.E.N.Q. Dans un deuxième temps, nous avons effectué

une régression linéaire multiple en introduisant comme variables explicatives (co-variables), les tests ainsi identifiés, et la B.E.N.Q. comme variable dépendante, afin de voir quelle(s) co-variable(s) prédisai(en)t le mieux les scores à la B.E.N.Q. Nous avons ensuite utilisé une méthode de régression « stepwise » avec suppression des co-variables une à une en fonction de leur poids dans la régression. Nous avons utilisé le R^2 ajusté (avec correction de Bonferroni) pour comparer la qualité des modèles explicatifs entre eux et prendre en compte le nombre de variables explicatives.

- **Analyse des corrélations**

La B.E.N.Q. est fortement corrélée à l'ECAN, puis à la MOCA (coefficient de corrélation = 0,91, p = 0,0012), à l'échelle de gravité de l'aphasie du BDAE (coefficient de corrélation = 0,81, p = 0,0002), à la BREF (coefficient de corrélation = 0,74, p = 0,0004), à la MIF (coefficient de corrélation = 0,61, p = 0,0121), et à l'ECVB (coefficient de corrélation = 0,57, p = 0,016). Nous ne relevons aucune corrélation statistiquement significative entre la B.E.N.Q. et les auto-évaluations (coefficient de corrélation B.E.N.Q.-EVA = -0,33, p = 0,49 / coefficient de corrélation B.E.N.Q.-Qualité de vie = 0,0026, p = 0,80), ni avec l'indice de Barthel (coefficient de corrélation B.E.N.Q.-Barthel = 0,18, p = 0,97).

ECVB composite : nous avons créé un score composite à partir des 4 questions de l'ECVB portant spécifiquement sur l'utilisation des nombres au quotidien. Le score total est égal à la somme des points obtenus à ces 4 questions (sur un total de 12 points maximum) :

- Q20 « *Quand vous payez, avez-vous des difficultés pour utiliser de l'argent liquide, par exemple : donner la somme exacte ou compter votre monnaie* ? »
- Q21 « *Pour payer, utilisez-vous des chèques (ou une carte bancaire)* ? »
- Q30 « *Avez-vous des difficultés pour lire l'heure* ? »
- Q34 « *Est-ce que vous remplissez des chèques* ? »

Nous avons ensuite vérifié les corrélations entre ce score composite et la B.E.N.Q. Une corrélation positive pourrait aiguiller vers la nécessité de faire passer l'évaluation écologique de calcul aux patients dont les notes sont faibles à ces 4 questions. Or la corrélation n'est pas statistiquement significative entre les deux évaluations.

- **Analyse de régression**

Nous avons d'abord effectué une régression linéaire multiple avec comme variables explicatives tous les tests qui étaient significativement corrélés à la B.E.N.Q. (ECAN, NCS, MIF, gravité de l'aphasie du BDAE, BREF, MOCA, ECVB), et comme variable dépendante, la B.E.N.Q. Le R^2 ajusté était de 0,862, soit un bon pouvoir explicatif. En

regardant le coefficient standardisé β de chacune des co-variables, nous avons pu voir quelle était celle expliquant le moins la variable dépendante B.E.N.Q. (=> MIF, avec un β de 0,044).
Nous avons supprimé cette co-variable et relancé la régression avec les co-variables restantes en suivant la même démarche à chaque pas. Nous avons ainsi supprimé l'une après l'autre les co-variables tout en vérifiant que le R^2 ajusté ne diminuait pas. Le meilleur modèle, celui avec le plus fort R^2 ajusté, donc le plus fort pouvoir explicatif, s'est avéré être composé de l'évaluation analytique ECAN (β de 0,647) et l'évaluation neuropsychologique MOCA (β de 0,333). Nous analyserons plus en détails ces résultats dans notre discussion.

V. Étude de cas

5.1.Présentation du patient

M. G. est un homme de 55 ans, gaucher sauf pour l'écriture, de langue maternelle française. Cuisinier de formation, il a ensuite été chauffeur routier. Suite à des problèmes cardiaques, (coronaropathie et pose d'un stent), il a été placé en invalidité catégorie 3 en 2012. Il a été victime d'un accident ischémique sylvien gauche étendu, sur occlusion carotidienne, le 1er février 2014.
Initialement, le bilan d'aphasie de Blanche Ducarne décrit une aphasie non fluente avec des éléments d'aphasie transcorticale motrice. On note : un manque du mot, des paraphasies et paragraphies phonémiques, des phrases courtes et pauvres en éléments syntaxiques. La répétition de phrases est chutée, la transcription est également échouée. En lecture, la voie d'adressage est mieux préservée que la voie d'assemblage. Par contre, la compréhension est globalement préservée, avec un effet de longueur à l'oral et une atteinte du niveau morphosyntaxique à l'écrit. On relève des déformations arthriques et une apraxie bucco-faciale massive.
Le bilan neuropsychologique met en évidence un syndrome dysexécutif avec un trouble de la flexibilité mentale, un trouble du contrôle modéré, des troubles attentionnels modérés et un déficit de la mémoire de travail gênant l'encodage.

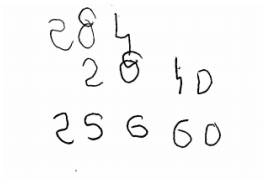
En juillet 2014, un nouveau bilan réalisé à partir des fluences de Cardebat, du BDAE et de la DO80 fait apparaître des progrès significatifs, avec une expression orale plus facile et efficace, une compréhension orale et écrite correctes. L'expression écrite est possible mais reste déficitaire. Les difficultés en mémoire de travail et des fluctuations attentionnelles impactent encore les activités langagières.

En décembre 2014, M. G. traverse un épisode dépressif majeur requérant la mise en place d'un traitement antidépresseur qui lui permet assez vite de retrouver le sommeil et de faire régresser significativement sa tristesse et son anxiété.
Début 2015, il persiste une aphasie non-fluente modérée, avec un manque du mot, des paraphasies et paragraphies phonémiques. Le langage reste lent mais informatif.

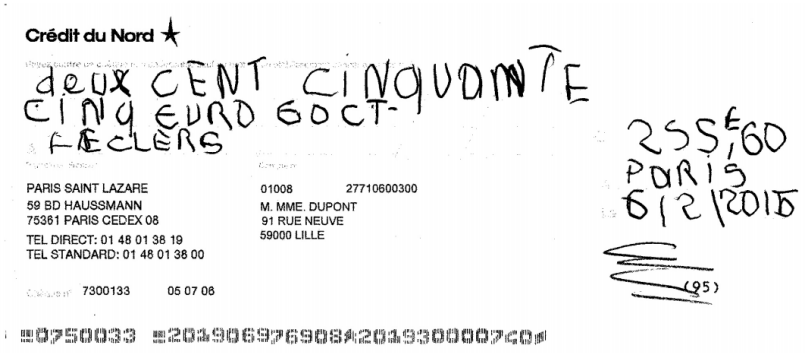
5.2.Analyse des résultats aux différents bilans

Sur l'échelle analogique **EVA** d'auto-évaluation, M. G. positionne ses difficultés concernant les nombres à 3,8cm/10, donc modérées.
M.G. se dit toutefois particulièrement en difficultés concernant la lecture de l'heure, les rendez-vous, l'écriture de numéraux arabes et verbaux (ex : rédiger un chèque), la compréhension des nombres oraux (ex : composer un numéro de téléphone donné oralement), et le calcul mental (ex : calculer un âge en partant de la date de naissance, calculer une remise de prix).
B.E.N.Q. : Il obtient un score de 31/40 à la B.E.N.Q. (moyenne à 33/40 pour son NSC), ce qui le situe dans une moyenne inférieure, à -0,58 ET. Par contre, le temps de passation est pathologique, avec un temps de presque 19 min, soit à 2,5 ET, au-delà du percentile 95 pour son NSC.
Les résultats aux subtests sont les suivants :

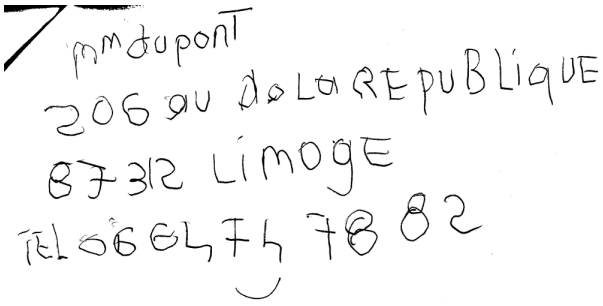
- L'heure : M. G. est conscient des difficultés qu'il a à lire l'heure sous forme analogique. Il s'autocorrige pour « sept heures et quart » (il lit d'abord « sept heures moins le quart »), et fait une erreur sur 4h50 qu'il lit 5h50. La lecture de l'heure digitale ne le met pas en difficulté.
- Les courses : les prix des articles sont bien évalués, et seul le prix du timbre doit être trouvé à l'aide du choix multiple. Le calcul approximatif est bien réalisé, avec un petit étayage pour prendre en compte les quantités justes. Le paiement ne pose aucun problème alors que la vérification du montant à la calculatrice met M. G. en difficultés, même s'il parvient à retrouver seul, et à force d'essais, le bon montant. L'épreuve totale dure donc plus de 5 min, ce qui place M. G en zone pathologique, supérieure au percentile 95.
- Le chèque : le calcul du pourcentage paraît plutôt facile pour M. G. : il pose bien son opération, mais fait une erreur d'1 euro car il oublie de prendre en compte les centimes (et finit par faire le calcul de tête).
  « Vous souhaitez acquérir un meuble. Il coûte 284 euros. Mais le magasin offre une réduction de 10%. Combien allez-vous le payer ? »



- La rédaction du chèque qu'il redoutait ne lui pose pas trop de soucis (à part l'écriture de la main gauche du fait de son hémiplégie).



- Le rendez-vous : le calcul de la durée, le repérage de la date et de l'heure sur l'agenda sont échoués. M. G. ne se retrouve pas dans les pages de l'agenda et ne sait plus dans quel sens les tourner pour retrouver la date qu'il cherche.
  L'écriture de coordonnées met en évidence la difficulté de M. G avec les dizaines complexes 70 et 90, et en particulier l'erreur lexicale entre 74 et 94 (que l'on retrouve aussi dans l'ECAN).

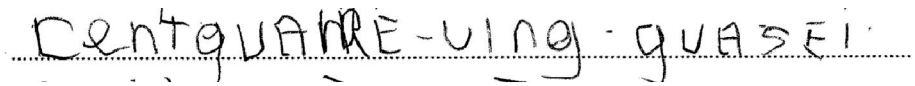


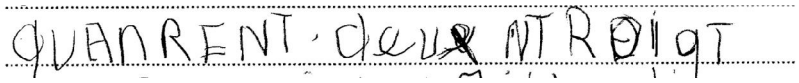
- Le digicode ne pose pas de souci à M. G.
- La recette : M. G. est un ancien cuisinier et continue à faire de la cuisine, il se trompe de quelques millimètres lors du positionnement d'un trait mais cela ne parait pas significatif.
- La lecture de données chiffrées : 74 est encore confondu avec 94. Les chiffres romains posent problème surtout dans l'accès au lexique verbal puisqu'en s'autocorrigeant, M. G. trouve le bon mot correspondant au chiffre romain « XIV ».

ECAN : l'épreuve analytique fait apparaître des résultats pathologiques à la fois sur la précision et sur le temps de réponse. On retrouve les difficultés de transcodage en

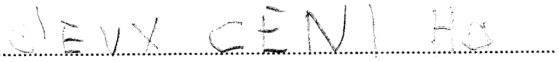
particulier dès que le code verbal écrit est impliqué, mais avec également des répercussions de l'aphasie et de l'agraphie et des troubles de la mémoire de travail qui gênent M. G. tout au long des épreuves.

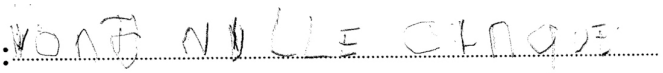
En lecture à haute voix de numéraux verbaux écrits, on note des erreurs lexicales (370 lu 310), syntaxiques (104 lu 54) et des erreurs liées à la présence du zéro intercalaire (40 100 lu 4 100). La dictée de numéraux verbaux en numéraux écrits est échouée :

195 : 

42 300 

De même que le transcodage de numéraux visuels arabes en verbaux écrits :

211 : 

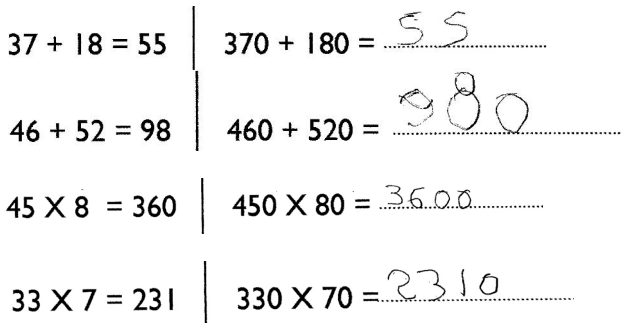
11 500 : 

M. G. fait quelques erreurs aux épreuves de placement sur une échelle et de dénombrement, alors que la représentation des quantités avec les jetons est très bien réussie, ce qui fait davantage penser à un trouble de l'exploration visuelle qu'à un trouble de la représentation analogique des quantités.

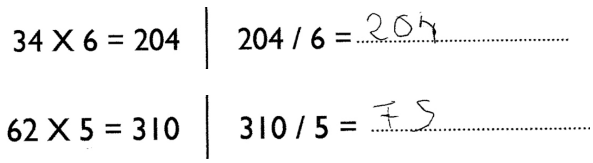
En calcul, les additions apparaissent préservées dans les différentes modalités testées (calcul mental, faits et principes, calcul posé, calcul à choix multiple). Les multiplications et les divisions posent davantage de difficultés à M. G., qui ne parvient pas à retrouver certains faits arithmétiques, comme par exemple 7*7. Par contre, on note que le choix multiple est un mode facilitateur pour lui. Ce trouble peut être interprété différemment selon les grands modèles connus :

- Il peut s'agir d'un trouble au niveau du système de calcul selon McCloskey, avec une difficulté d'accès au stock des faits arithmétiques ;
- Si l'on se rapproche du modèle de Dehaene, il s'agirait d'un trouble de la récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme avec une représentation analogique plutôt préservée par rapport à la représentation verbale ;
- En voulant comparer cet exemple au modèle de langage de Hillis et Caramazza, (53) on pourrait avancer l'hypothèse que le système sémantique du patient est intègre, mais que l'accès au lexique des faits arithmétiques (phonologique mais aussi orthographique) est atteint, et cet accès est facilité par des propositions en choix multiple.

Les principes arithmétiques sont globalement difficiles, avec en particulier des erreurs liées au zéro, que ce soit pour les additions ou les multiplications. Par exemple :



De même, le principe de réversibilité est globalement préservé pour les additions/soustractions alors qu'il semble aboli pour les multiplications/divisions :



L'échec aux problèmes de l'ECAN semble essentiellement dû au trouble résiduel de compréhension.

La lecture de l'heure analogique est particulièrement difficile pour M. G. qui dit être gêné dans sa vie quotidienne. Dès que les minutes dépassent +40 (ex : 2h40), M.G. ajoute une heure. Il lit donc 2h50 ⇒ 3h50, 8h50 ⇒ 9h50, 8h55 ⇒ 9h55 et 3h40 ⇒ 4h40. Il fait de même lorsqu'il formule « *moins vingt* », puisque « midi moins vingt » devient par exemple « onze heures moins vingt ».

M.G. a une assez bonne idée des déficits qui le gênent dans sa relation aux nombres au quotidien, même si son auto-évaluation n'est pas mauvaise. Et s'il n'obtient pas un *score* vraiment pathologique à la B.E.N.Q., son *temps* très pathologique indique qu'en situation réelle, il doit effectivement être très gêné. L'ECAN permet ici de valider puis de creuser les mécanismes qui ne fonctionnent pas. En effet, les deux outils font apparaître un trouble dans la lecture de l'heure analogique, dans le transcodage impliquant l'écrit, dans l'accès au lexique des numéraux oraux et numéraux verbaux écrits, des problèmes de repérage des durées et données temporelles (RDV agenda, cinéma), tout en indiquant que la représentation analogique des quantités semble préservée (recette, jetons).

5.3.Axes de prise en charge

Nous avons fait repasser la B.E.N.Q. à M.G. 1,5 mois après la 1ère passation, et avant de démarrer une rééducation, afin de vérifier que ses scores n'avaient pas changé (ligne de

base pré-thérapeutique). Effectivement, le patient a obtenu 31/40 en 1099 s, soit un score moyen identique et un temps très légèrement inférieur de 35 s à la 1ère passation.

		Heure /4	Courses /9	Chèque /6	RDV /9	Cinéma /4	Digicode /1	Recette /2	Lecture données chiff/5	TOTAL /40
SCORES	1ère passation	3,5	7,5	5	6	3	1	1	4	*31,0*
	Z-score	*-0,4*	*0,1*	*1,1*	*-5,6*	*0,1*	*0*	*0,2*	*-1,2*	*-0,5*
	2ème passation	3	8,0	3	6	3	1	2	5	*31,0*
TEMPS	1ère pasation	34,84	327,90	251,72	325,51	66,18	5,19	69,20	52,95	*1133,49*
	Z-score	*0,7*	*3,0*	*3,0*	*2,4*	*0,1*	*0,6*	*0,4*	*7,6*	*2,5*
	2ème passation	50,63	270,4	243,55	306,03	114,39	7,3	40,07	66,56	*1098,9*

Tableau 14 : Scores, temps et z-scores par subtest du patient M. G. à la B.E.N.Q. (1ère évaluation et ligne de base pré-thérapeutique)

M.G. est donc pris en charge pour son trouble du calcul à raison d'1 séance hebdomadaire à partir d'avril en plus des 2 autres séances d'orthophonie (hôpital et libéral à domicile) pour son aphasie et de ses séances d'ergothérapie et de kinésithérapie.

Les axes de prise en charge vont se concentrer dans un premier temps sur les déficits à la base des troubles du patient (axes analytiques : transcodages, mémoire de travail ; axes écologiques : lecture de l'heure, repérage dans un agenda). Ce travail permettra dans un second temps d'aborder des situations plus proches de la vie quotidienne, par exemple dans des petits scénarios (repérer des informations numériques sur une publicité dans un magazine par exemple) :

- Transcodages (matériel : cartons avec chaque chiffre représenté sous format arabe, verbal écrit et en quantité analogique par des dés) : revue des chiffres puis des nombres sur le modèle de la rééducation de l'aphasie : lecture à haute voix / copie / copie différée et revue lors de la séance suivante ;
- Lecture de l'heure (matériel : pendule cartonnée avec aiguilles de couleurs différentes) : revue des principes de fonctionnement (minutes, heures, aiguilles, système 12/24), revue du vocabulaire de l'heure (midi, minuit, et demi, moins le quart…), travail sur 5 items par séance (sans erreur, lecture d'une heure représentée, représentation par le patient d'une heure donnée oralement par le thérapeute). Révision des items la séance suivante et ajout de nouveaux items.
- Mémoire de travail des chiffres : reconstitution de nombres sur épellation des chiffres le composant, classement de nombres, recherche de nombres sur indication « *est plus petit/est plus grand que* », ou exercices issus du manuel « *Des nombres en tête* ».
- Repérage temporel dans un agenda : l'orthophoniste libérale qui suit M.G. lui fait travailler le repérage au sein d'un agenda.

Nous souhaitions initialement pouvoir réaliser une mesure des évolutions de M. G suite à la rééducation, à l'aide de la B.E.N.Q. Malheureusement, pour des questions d'agenda, nous n'avons pu effectuer que 8 séances d'1 h, ce qui nous semblait très insuffisant pour mettre en évidence les éventuels progrès. 10 séances semblaient être un minimum selon les bonnes pratiques cliniques. Bécard et Carrier avaient également choisi de réaliser un minimum de 10 séances de rééducation pour mesurer les progrès de leurs patients, dans leur mémoire d'orthophonie sur la rééducation écologique des troubles du calcul avec le matériel Orthonumérik (Bécard et coll. 2013)(14).

DISCUSSION

Le présent mémoire, qui fait suite aux travaux de Villain, Hurteaux et Bernard, avait pour objectif de valider la Batterie d'Évaluation des Nombres au Quotidien auprès d'un plus grand nombre de patients cérébrolésés, victimes d'un accident vasculaire cérébral ou d'un traumatisme crânien, et suivis en hôpital de jour. A l'occasion des passations de la B.E.N.Q., nous avons administré l'ECAN ainsi que plusieurs échelles d'auto-évaluations, des mesures du langage et de la communication, et recueilli des données neuropsychologiques et médicales.

La B.E.N.Q. s'est révélée être un outil facile, rapide à passer, agréable pour les patients par son aspect très écologique par rapport à la majorité des autres évaluations. Les patients identifient bien l'intérêt qu'il y a à passer ce test.

1. Discussion des résultats obtenus

Validité de construit

Cette nouvelle étude a été l'occasion de recalculer les indices de discrimination des subtests de la B.E.N.Q. en reprenant les données de l'échantillon de normalisation auxquelles nous avons ajouté les données de nos 31 patients. Il s'avère que les indices jugés très bons (supérieurs à 0,4 : subtests Cinéma, Chèques, Recette) sont les mêmes que lors du précédent calcul réalisé par Villain en 2015 (89), de même que les indices jugés « bons « (entre 0,2 et 0,4 : subtests Courses, Lecture et RDV).

Par ailleurs, les épreuves les plus échouées par les 31 patients étudiés sont les mêmes que celles identifiées lors de la précédente étude de Hurteaux et Bernard sur 10 patients (16), avec l'épreuve du RDV, de l'heure et de la lecture. Ces épreuves de transcodage mettent particulièrement en difficulté les patients aphasiques comme l'a montré Dellatolas dans une étude de 2001 sur les profils de performance des patients cérébrolésés (Dellatolas et coll. 2001)(38). Tous ces résultats attestent d'une bonne validité de construit de la B.E.N.Q.

Notre étude sur un échantillon plus étendu confirme encore l'importance de chronométrer les épreuves, car les patients ayant très bien réussi les subtests l'ont souvent fait au prix d'une lenteur qui peut se révéler handicapante au quotidien. Inversement, les patients suffisamment rapides d'après la norme le sont au détriment de la précision de leurs réponses. Cette remarque est valable pour les résultats à la B.E.N.Q. et pour ceux à l'ECAN. Cette notion d'arbitrage temps/précision est primordiale dans une évaluation écologique qui s'adresse à des patients parfois anosognosiques (aide à la prise de

conscience) ou souffrant d'un syndrome dysexécutif (comme c'est le cas pour les 3 seuls patients qui ont des temps dans la norme) et parfois donc de précipitation.

Validité concurrente

Jusqu'à présent, les études sur la B.E.N.Q. avaient uniquement testé ses corrélations avec d'autres évaluations des compétences numériques (Bernard et coll. 2012)(16), (Pizzala et coll. 2012)(72) ou (Villain et coll. 2015)(89). Ce mémoire nous a permis de renforcer cette démonstration sur une population plus large en montrant la forte corrélation entre la B.E.N.Q. et l'ECAN, outil analytique choisi comme référence lors de la normalisation de la B.E.N.Q. Cependant, nous savons que les habiletés numériques sont liées à de nombreuses autres compétences -habiletés de communication et de langage (Semenza et coll. 2006)(83), mémoire de travail (Mayer et coll. 2003)(63), capacités constructives, visuo-spatiales, fonctions exécutives (Butterworth et coll. 2011)(13) - et que l'acalculie est très souvent secondaire à d'autres troubles (Ardila et coll. 2002)(5). Nous avons donc souhaité étudier la corrélation de la B.E.N.Q. avec l'échelle de gravité de l'aphasie du BDAE, l'auto-évaluation de la communication ECVB, des évaluations cognitives (BREF, MOCA) et des évaluations fonctionnelles (MIF, Barthel).

Nous avons trouvé un lien de corrélation significative entre la B.E.N.Q. et les tests de langage et de communication ECVB et l'échelle de l'aphasie du BDAE. Ce résultat était attendu, même si les conséquences des troubles du langage sur les capacités numériques sont toujours discutées dans la littérature (Baldo et coll. 2007)(10) puisqu'il existe des cas de patients souffrant de sévères aphasies mais ayant des capacités mathématiques relativement préservées, ou des cas de dissociations (déficits « catégories-spécifiques ») entre capacités de lecture des mots et de lecture des numéraux verbaux écrits et des nombres visuels arabes (Piras et coll. 2009)(71).

La B.E.N.Q. est également corrélée avec les évaluations cognitives MOCA et BREF. Il est à noter qu'une récente étude a montré que la MOCA, outil utilisé très fréquemment pour réaliser un screening des fonctions cognitives après une lésion cérébrale, avait tendance à sous-estimer les déficiences cognitives (Chan et coll. 2014)(21). Un screening des capacités numériques avec la B.E.N.Q. semble donc tout à fait justifié pour compléter le résultat de la MOCA.

La B.E.N.Q. est corrélée dans une moindre mesure, avec l'évaluation fonctionnelle MIF, mais pas avec l'indice de Barthel. Une hypothèse explicative pourrait être que la MIF intègre la dimension cognition/interactions sociales (items N, O « Communication », P, Q, R « Conscience du monde extérieur »), alors que l'indice de Barthel se limite à la dimension purement motrice de l'indépendance fonctionnelle. C'est en effet une des raisons pour lesquelles la MIF a été mise au point en 1986/87 aux États-Unis et adaptée

dès 1988 en France (Yelnik 1997)(8). D'ailleurs, des études ont montré que l'analyse des subtests de cette échelle était plus pertinente que celle du score global (Ravaud et coll. 1999)(75) et que l'on avait bien 2 indicateurs en un : un indicateur des fonctions motrices et un indicateur des fonctions cognitives (Linacre et coll. 1994)(61).
Ce résultat renforce encore l'idée selon laquelle une évaluation des habiletés numériques devrait être systématiquement réalisée chez les patients présentant un score pathologique aux évaluations de langage/communication mais aussi aux tests cognitifs, voire à la MIF.

2. Réponses aux hypothèses

- **Hypothèse 1** : *vérifier la sensibilité de l'outil auprès des patients cérébrolésés : les résultats de patients à la B.E.N.Q. sont significativement inférieurs de ceux de la population normale.* Les résultats moyens à la B.E.N.Q. des 31 patients étudiés sont significativement inférieurs à la norme, à la fois en temps et en précision, en accord avec les données de la littérature qui montrent clairement que les patients cérébrolésés présentent des habiletés numériques globalement inférieures aux patients contrôles (Bayen 2009)(12). En effet, les compétences numériques faisant partie *d'un vaste réseau d'aires cérébrales* (Dehaene 2010)(32), la lésion d'une des zones appartenant à ce système cognitif complexe peut engendrer des répercussions sur l'ensemble de la chaine impliquée dans les habiletés numériques (Ardila et coll. 2002)(5).

  Nous avons également confirmé que le chronométrage des épreuves est indispensable car il permet de déceler les patients qui privilégient la vitesse au détriment de la qualité de leurs réponses.
- **Hypothèse 2** : *mettre en évidence une différence de profils de résultats à la B.E.N.Q. en fonction de la latéralisation de l'atteinte, conformément à la littérature*. Nous cherchions à savoir si l'outil permettrait de mettre en évidence une différence statistiquement significative entre les patients cérébrolésés droits et gauches, comme l'avait trouvé Villain (91), et conformément aux résultats de la littérature (Grafman et coll. 1982)(49), (Mayer et coll. 2003)(63). Il s'avère plus précisément que les scores moyens aux subtests de lecture de l'heure, de rédaction des chèques et de lecture de données chiffrées sont significativement inférieurs chez les patients cérébrolésés gauches que chez les droits. Ce résultat concorde avec celui de Dellatolas (38) car ces subtests font partie du processus « Transcodage » de la B.E.N.Q., qui intègre les subtests de lecture de l'heure, de paiement en espèces et en chèque, d'utilisation de la calculatrice, d'utilisation de l'agenda, de coordonnées, de codes et de lecture de nombres (Tarabon-Prévost et coll. 2014)(89). Nous avons donc

comparé les moyennes des scores à ce processus « Transcodage » pour les 2 populations, cérébrolésés droits et gauches. La différence est significative en temps pour le transcodage et le calcul, mais ne l'est pas en scores. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ce processus est constitué de tâches de transcodage non « pures », multi-déterminées, comme c'est souvent le cas en vie quotidienne. Il pourrait être intéressant de regarder si ce processus « Transcodage » pourrait être affiné au regard de ces résultats (avec par exemple moins de subtests entrant dans sa composition). Une analyse factorielle auprès d'un échantillon plus important de patients pourrait permettre de répondre en partie à cette question.

- **Hypothèse 3** : *mettre en évidence une différence de profils de résultats à la B.E.N.Q. entre les populations de patients vasculaires et de traumatisés crâniens*. Nous n'avons pu intégrer dans notre échantillon que 4 patients traumatisés crâniens, mais il serait vraiment intéressant de pouvoir étudier un plus grand nombre de ces patients pour comparer leurs résultats à ceux de patients vasculaires, et ainsi valider ou invalider la tendance qui se dégage de nos résultats : les 4 patients TC ont obtenu de meilleurs résultats moyens que les patients AVC, à la fois en termes de précision et de temps (sans être cependant dans la norme) à la B.E.N.Q. et à l'ECAN. Un traumatisme crânien affectant le cerveau de manière généralement plus diffuse que les accidents vasculaires, le risque que l'une des zones cérébrales impliquées dans les compétences numériques, même indirectement, est grand. Les séquelles classiques d'un traumatisme crânien concernent la mémoire de travail, l'attention, les fonctions exécutives (Azouvi et coll. 2007)(9), toutes impliquées dans les processus de traitement du nombre.
- **Hypothèse 4** : *vérifier sur une population plus importante que les résultats de la B.E.N.Q. sont corrélés aux résultats de l'ECAN.* Le test de corrélation des rangs de Spearman a mis en évidence un lien très fort entre les 2 outils, au niveau des scores et dans une moindre mesure, au niveau du temps. Ce résultat confirme celui trouvé par Hurteaux (16). Grâce à sa passation facile et rapide, on pourrait imaginer l'intérêt d'administrer une B.E.N.Q. chez tous les patients pour lesquels on a décelé un trouble de type acalculique, voire de façon systématique chez tous les patients présentant des troubles cognitifs et du langage. En fonction des résultats à la B.E.N.Q., l'ECAN pourrait être administré, soit dans sa totalité, soit en sélectionnant les subtests concernant des déficits identifiés en première intention et que l'on souhaite évaluer de manière plus analytique (cf. ANNEXE I Correspondance entre les subtests B.E.N.Q. et ECAN tiré du mémoire d'Hurteaux et Bernard).

- **Hypothèse 5** : *mettre en évidence un lien de corrélation entre les résultats de la B.E.N.Q. et les auto-évaluations des patients*. Dans notre étude, la B.E.N.Q. n'apparaît pas significativement corrélée à la mesure d'auto-évaluation EVA Données chiffrées, ni à l'échelle de Qualité de vie, alors qu'il existe une corrélation moyenne mais significative avec l'ECVB, mais une absence de corrélation entre la B.E.N.Q. et l'ECVB composite (questions sur l'utilisation des nombres au quotidien). En effet, si le score moyen à la B.E.N.Q. est pathologique pour tous les niveaux socio-culturels, au contraire, la moyenne de satisfaction en termes de Qualité de vie est correcte. De même, le score moyen à l'EVA indique une faible perception des difficultés avec les chiffres. Les patients semblent globalement minimiser leurs difficultés au quotidien, ou surestimer leurs compétences (cf. les résultats de l'étude NADL (Semenza et coll. 2014)(84). Les résultats à l'ECVB indiquent par contre une perception un peu plus en lien avec la réalité des troubles.

  Il semble donc exister un certain degré d'anosognosie vis-à-vis des difficultés sur les chiffres, d'autant que les bilans et les rééducations dont ont bénéficié ces patients, ont généralement porté sur le langage, la communication, les aspects cognitifs et moteurs, mais pas sur les habiletés numériques (ce qui n'aide pas les patients à lever l'anosognosie sur ce sujet). Il y aurait ainsi une certaine prégnance de la perception des troubles de la communication et du langage sur celle des troubles du calcul. Ces résultats nous encourageraient donc également à faire passer la B.E.N.Q. de manière plus systématique, car les patients ne se plaignent pas spontanément de leurs difficultés avec les nombres.

3. Critiques et perspectives de notre étude

- **Taille échantillon :** nous n'avons pu inclure que 31 patients dans notre échantillon, pour des raisons de disponibilité, de fatigabilité des patients, de gestion de planning, dans le cadre d'une étude très chronophage (de 2 à 5 sessions de passation). Il faudrait dans l'idéal atteindre au moins la centaine de patients pour réaliser des tests statistiques sur les sous-populations que l'on souhaiterait étudier (au moins 30 lésions droites/ 30 lésions gauches ; au moins 30 patients TC/ 30 AVC), avec une répartition homogène des niveaux socio-culturels, âges et sexes. Nous pourrions alors nous appuyer sur des tests statistiques plus robustes et vérifier les premières pistes identifiées ici, à savoir de meilleurs résultats à la B.E.N.Q. pour les patients cérébrolésés droits VS gauches, et les patients traumatisés crâniens VS vasculaires.

- **Nombre et profil des patients TC :** nous n'avons pu interroger que 4 patients traumatisés crâniens, ce qui ne nous a pas permis de réaliser de tests statistiques de comparaisons de moyennes entre les TC et les AVC. Par ailleurs, sur ces 4 patients, 3 étaient de niveau socio-culturel élevé (bac +5 ou plus), 1 de niveau moyen, ce qui a peut-être pu biaiser les résultats obtenus. Il serait intéressant d'étudier plus avant les capacités numériques chez une grande cohorte de patients traumatisés crâniens avec la B.E.N.Q. À notre connaissance, assez peu d'études se sont penchées sur ce sujet spécifique chez les traumatisés crâniens.
- **Outil B.E.N.Q.** : les épreuves très écologiques de la B.E.N.Q. font chacune appel à plusieurs compétences numériques intriquées -transcodage, calcul, estimation- et il parait nécessaire d'étudier plus précisément quelle compétence est touchée pour mettre en place un plan de rééducation ciblé. C'est ici que des outils plus analytiques comme le TLC2 (Pizzala et coll. 2012)(72) ou l'ECAN montrent leur intérêt par rapport à la B.E.N.Q.

  Par ailleurs, l'étude du processus Transcodage tel que défini dans la B.E.N.Q. actuellement ne s'est pas révélé significatif pour comparer les performances des échantillons de patients cérébrolésés gauches VS droits, alors que des subtests ont montré cette différence individuellement. Il serait intéressant de vérifier ce résultat auprès d'un plus grand échantillon de patients afin de tester l'utilité d'un tel sous-processus dans l'analyse des résultats d'un patient, VS les résultats à des processus individuels très ciblés (comme la lecture de données chiffrées par exemple).
- **Étude de cas :** Nous avions initialement souhaité pouvoir mesurer l'évolution des compétences numériques de M.G. après au moins 10 séances de rééducation. En effet, sa performance initiale en scores n'étant pas pathologique mais dans une moyenne basse (mais pathologique en temps), la marge de progression potentielle semblait faible. Nous avons donc à nouveau proposé la B.E.N.Q. à M.G., 1 mois et demi après la première passation, afin de vérifier la stabilité de notre ligne de base pré-thérapeutique (contexte d'un patient souffrant de troubles chroniques depuis 1 an, et non rééduqué pour le calcul entre ces 2 tests). Les résultats se sont avérés complètement stables (cf. tableau 14), ce qui montre une bonne fiabilité et une bonne stabilité test-retest de l'outil. Malheureusement, nous n'avons pu voir ce patient que 8 fois dans le cadre de cette étude (même si sa rééducation des troubles du calcul se poursuit, bien entendu). Nous n'avons donc pas réévalué M.G. Il sera intéressant de tester à nouveau ce patient avant l'été afin de mesurer ses éventuels progrès (progrès visibles lors de séances de rééducation).

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons étudié les capacités numériques de 31 patients cérébrolésés, à l'aide d'un outil écologique, la B.E.N.Q. et d'un outil analytique, l'ECAN. Nous avons mis en évidence des liens entre les capacités numériques de ces patients et leurs performances aux évaluations du langage et de communication et l'évaluation de leurs fonctions cognitives. Nous avons ainsi poursuivi la validation de l'outil B.E.N.Q. auprès des patients cérébrolésés, et montré que cet outil possède une bonne validité de construit et une bonne validité concurrente. Nous avons confirmé l'importance de la mesure du temps de réponse. Nous avons également relevé que la B.E.N.Q. remportait une bonne adhésion, avec des patients appréciant de passer un test de calcul rapide et écologique, dépassant ainsi une première réaction souvent négative par rapport à l'idée d'évaluer les compétences mathématiques.

Nous avons confirmé le degré de corrélation existant entre la B.E.N.Q. et l'ECAN, qui, au lieu d'en faire 2 outils redondants, renforce l'utilité et la complémentarité de chacun : la B.E.N.Q. pouvant se positionner comme une évaluation écologique de première intention, et permettant de mesurer les progrès au fil de la rééducation, et l'ECAN pouvant se voir comme un outil de mesure précis des capacités numériques fines, dans l'objectif de définir un plan de rééducation.

Pour ces raisons, la B.E.N.Q. paraît être un bon outil pour promouvoir un dépistage plus systématique des troubles du calcul chez les patients cérébrolésés, troubles très handicapants au quotidien : « *la numération est, aujourd'hui, tout aussi essentielle pour l'autonomie et la qualité de vie d'un individu que l'alphabétisation* » (Girelli 2000)(47).

<u>Pistes de réflexion</u> :

- Utiliser la B.E.N.Q. auprès de profils de patients plus variés : il serait maintenant intéressant d'administrer la B.E.N.Q. à d'autres populations dont les pathologies neurologiques affectent les capacités en calcul (démences, sclérose en plaques …) afin d'en tester la sensibilité et la pertinence, et éventuellement dégager des profils numériques (cf. Cappelletti et coll. 2012)(19).
- Développer un nouveau matériel de rééducation écologique du nombre : il existe actuellement peu de matériels de rééducation des troubles du calcul chez les adultes cérébrolésés (Bécard et coll. 2013)(14), et encore moins d'outils écologiques. Orthonumérik a été développé afin de répondre à cette demande

(Perros-Durand et Issoulié, 2009)(67). Le matériel se présente sous la forme d'une boite à outils de 226 fiches d'exercices recouvrant 5 chapitres (calculs, numération, utilisation du nombre dans les mesures, dans la vie quotidienne, textes à nombres) ainsi que des jeux numériques. Cette organisation permet de nombreuses variantes dans les séances de rééducation, afin de s'adapter aux troubles spécifiques du patient et de moduler les difficultés (modalités de consignes et de réponses modifiables, recours plus ou moins important à la mémoire).

Dans la lignée de cet outil, il pourrait être pertinent de développer un matériel de rééducation de type ReNQ (Rééducation du Nombre au Quotidien), pour répondre aux demandes des patients et des orthophonistes, en suivant 2 pistes apparues à l'issue de ce mémoire :

- Se baser sur des *scénarios de vie quotidienne* (sur le modèle de la B.E.N.Q. en évaluation), pourquoi pas à l'aide de la réalité virtuelle, sur outil informatique ;
- Prendre en compte le *temps de réalisation* des tâches numériques afin de mesurer les progrès également sur cette dimension, dans la mesure où plusieurs patients sont uniquement pathologiques en temps et non en score, ce qui est, au quotidien, tout aussi handicapant pour eux (regard de l'autre difficile à supporter, conduites d'évitement …).

- Identifier et analyser des dissociations chez un même patient entre l'évaluation écologique et l'évaluation analytique : afin de bien asseoir la complémentarité de ces deux types de batteries, il serait pertinent de travailler sur le cas clinique d'un patient présentant des résultats dissociés entre la B.E.N.Q. et l'ECAN par exemple, cas que nous n'avons pas trouvé parmi les patients étudiés jusqu'ici dans le cadre de nos études sur la B.E.N.Q.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Andres, M. Pelgrims, B., Michaux, N., Olivier, E., Pesenti, M. (2011). Role of distinct parietal areas in arithmetic. *Neurimage*, vol *54, p.3048_3056*.

(2) Ansari, D., & Dhital, B. (2006). Age-related changes in the activation of the intraparietal sulcus during nonsymbolic magnitude processing: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(11), p.1820–1828.

(3) Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport*, *16*(16), p.1769–1773.

(4) Ardila, A., & Rosselli, M. (1989). Calculation deficits in patients with right and left hemisphere damage. *Neuropsychologia, Vol 27, n°5, P.607-617*.

(5) Ardila, A., & Rosselli, M. (2002). Acalculia and dyscalculia. *Neuropsychology Review*, *12*(4), p.179–231.

(6) Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is 2+2=4? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage*, *54*(3), p.2382–2393.

(7) Auzou, Lavoix, Leroux. (2011). *Troubles du calcul chez des patients avec lésion cérébrale d'origine vasculaire*. Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste. Paris UPMC.

(8) A Yelnik, I. N. (1997). Limites de l'interprétation du score global de la mesure de l'indépendance fonctionnelle (MIF). *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, *40*(5).

(9) Azouvi, P., Joseph, P.-A., & Pélissier, J. (2007). *Prise en charge des traumatisés cranio-encéphaliques*. Ed. Masson. 235p.

(10) Baldo, J. V., & Dronkers, N. F. (2007). Neural correlates of arithmetic and language comprehension: a common substrate? *Neuropsychologia*, *45*(2), p. 229–235.

(11) Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P., & Seron, X. (2004). ADAPT: a developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to arabic numerals. *Psychological review*, *111*(2), 368–94.

(12) Bayen, E., Pradat-Diehl, P., Peskine, A., Université Pierre et Marie Curie (Paris), & UFR de médecine Pierre et Marie Curie. (2009). *Evaluation par une batterie*

écologique du maniement des données chiffrées chez les patients aphasiques vasculaires. Thèse d'exercice en Médecine.

(13) B. Butterworth, & V. Walsh. (2011). Neural basis of mathematical cognition. *Current Biology*, *21 n°16*, p.618–621.

(14) Bécard, A., & Carrier, P. (2013, 2014). Remédiation écologique des troubles du calcul et du traitement des nombres chez quatre sujets aphasiques. Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste, UPMC.

(15) Benavides-Varela, S., Pitteri, M., Priftis, K., Passarini, L., Meneghello, F., & Semenza, C. (2014). Right-hemisphere (spatial?) acalculia and the influence of neglect. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*. /PMC4138500/doi : 10.3389

(16) Bernard, B., Hurteaux, E., Prévost, C., Villain, M., Université Pierre et Marie Curie (Paris), & UFR de médecine Pierre et Marie Curie. (2012). *BENQ-R^2, Batterie d'Evaluation du Nombre au Quotidien Révisée, 2ème version Remaniement, Normalisation et Validation*. Mémoire pour le certificat de capacité d'orthophonie

(17) Béthoux, F., & Calmels, P. (2012). *Guide des outils de mesure et d'évaluation en médecine physique et de réadaptation*. Editions Frison-Roche. 403 pages.

(18) Bout-Forestier, N. (2008). *Test lillois de calcul TLC2*. Ortho Edition.

(19) Cappelletti, M., Butterworth, B., & Kopelman, M. (2012). Numeracy skills in patients with degenerative disorders and focal brain lesions: a neuropsychological investigation. *Neuropsychology*, *26*(1), p.1–19.

(20) Caspers, S., Geyer, S., Schleicher, A., Mohlberg, H., Amunts, K., & Zilles, K. (2006). The human inferior parietal cortex: cytoarchitectonic parcellation and interindividual variability. *NeuroImage*, *33*(2), p.430–448.

(21) Chan, E., Khan, S., Oliver, R., Gill, S. K., Werring, D. J., & Cipolotti, L. (2014). Underestimation of cognitive impairments by the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) in an acute stroke unit population. *Journal of the Neurological Sciences*, *343*(1–2), p.176–179.

(22) Chevignard, M., & Poncet, F. (2013). Évaluation écologique des fonctions exécutives. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *56*, e343–e344.

(23) Cohen, L., & Dehaene, S. (2000). Calculating without reading: unsuspected residual abilities in pure alexia. *Cognitive Neuropsychology*, *17*(6), p.563–583.

(24) Collington, R., Mahy, J., & LeClerq, C. (1977). Étude de la semologie des troubles du calcul observés au cours des lésions corticales. Acta Neurol. Belg.

(25) Coste, C., Noquet, S., & Hennebelle, D. (2013). Intérêt de l'apport de l'évaluation écologique en complément des tests papier crayon : illustration chez deux patientes atteintes de paralysie cérébrale (PC). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *56*, e303.

(26) Coubart, A., Izard, V., Spelke, E. S., Marie, J., & Streri, A. (2014). Dissociation between small and large numerosities in newborn infants. *Developmental Science*, *17*(1), p.11–22.

(27) Couillandeau, A.L., Durand, F., & Cheynel, M.L. (2003). Élaboration d'un protocole d'évaluation de la manipulation de la monnaie chez les patients aphasiques - Approche écologique - Glossa 2003 n°84 juin : p.60-74.

(28) Darrigrand, B., & Mazaux, J.-M. (2000). Échelle de Communication Verbale de Bordeaux. Ortho Éditions.

(29) Dartinet, V., & Martinaud, O. (2005). La BREF, une batterie rapide d'évaluation frontale. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*, *5*(29), p.43–46.

(30) Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber-Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(4), p.145–147.

(31) Dehaene, S., Piazza, M., Cohen, L., Pinel, P. (2003). Three parietal circuits for number processing. *COGNITIVE NEUROPSYCHOLOGY*, p.487–506.

(32) Dehaene, S. (2010). *Bosse des maths (La): Quinze ans après*. Odile Jacob. 377 p.

(33) Dehaene, S. (2011). The Number Sense. Oxford University Press USA, 339 p.

(34) Delarque, A., Viton, J.M., Bensoussan, J.M., Triglia, S., Roman, S., Forzano, O., Kluse, L., et al. (2006). Evaluation clinique et fonctionnelle d'un handicap moteur, cognitif ou sensoriel. Faculté de Médecine de Marseille.

(35) Delazer, M., Girelli, L., Granà, A., & Domahs, F. (2003). Number processing and calculation--normative data from healthy adults. *The Clinical Neuropsychologist*, *17*(3), p.331–350.

(36) Delazer, M., Domahs, F., Lochy, A., Karner, E., Benke, T., & Poewe, W. (2004). Number processing and basal ganglia dysfunction: a single case study. *Neuropsychologia*, *42*(8), p.1050–1062.

(37) Della Puppa, A., De Pellegrin, S., d'Avella, E., Gioffrè, G., Munari, M., Saladini, M., Salillas, E., et al. (2013). Right parietal cortex and calculation processing:

intraoperative functional mapping of multiplication and addition in patients affected by a brain tumor. *Journal of Neurosurgery*, *119*(5), p.1107–1111.

(38) Dellatolas, G., Deloche, G., Basso, A., & Claros-Salinas, D. (2001). Assessment of calculation and number processing using the EC301 battery: cross-cultural normative data and application to left- and right-brain damaged patients. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *7*(7), p.840–859.

(39) Deloche, G., & Seron, X. (1982). From one to 1: An analysis of a transcoding process by means of neuropsychological data. *Cognition*, *12*(2), p.119–149.

(40) Deloche, G., & Seron, X. (1987). *Numerical transcoding: A general production* model. Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective. , (pp. 137-170). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, xviii, 281 pp.

(41) Deloche, G., & Séron, X. (1991). EC301 : Batterie d'Evaluation du Traitement des Nombres et du Calcul chez l'Adulte. *Glossa, les cahiers de l'Unadrio*, (27), p.40–42.

(42) Dobato, J. L., Hernández-Laín, A., & Caminero, A. B. (2000). [Acalculia. Neurological bases, evaluation and disorders]. *Revista De Neurologia*, *30*(5), p.483–486.

(43) Emerson, R. W., Cantlon, J.F. (2015). Continuity and change in children's longitudinal neural responses to numbers. *Developmental Science*, *18*(2), p.314-326.

(44) Eustache, F., Faure, S., & Desgranges, B. (2013). *Manuel de neuropsychologie - 4ème édition*. Dunod, 467pages.

(45) Galibourg, C., & Auzou, P. (2013). Normalisation de l'ECAN. Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste. UPMC

(46) Gerstmann. (1957). Some notes on the Gerstmann Syndrom. *Neurology Dec; 7(12):866-9*.

(47) Girelli, L., Pesenti, M., & Séron, X. (2000). La rééducation cognitive des troubles numériques. *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (pp. 257–273). Solal, Éditeur, Marseille.

(48) Godo, M.-L., & Maricic, H. (2005). *Élaboration d'un protocole d'évaluation de l'acalculie chez les personnes aphasiques*. Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste. Université de Lyon

(49) Grafman, J., Passafiume, D., Faglioni, P., & Boller, F. (1982). Calculation disturbances in adults with focal hemispheric damage. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *18*(1), p.37–49.

(50) Granger, C., Hamilton, Keith, R., Zielezny, M., Sherwin, F. (1986). Advances in functional assessment for medical rehabilitation. *Top Geriatr Rehabil*, *3*(1), p.59-74.

(51) Hécaen, Angelergues, & Houiller. (1961). Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétrorolandiques : approche statistique du problème. *Revue Neurologique, 105*, p.85–103.

(52) Henschen. (1925). Clinical and anatomical contributions on brain pathology. Archives of Neurology and Psychiatry, p.226–249.

(53) Hillis, A. E., & Caramazza, A. (1991). Mechanisms for accessing lexical representations for output: Evidence from a category-specific semantic deficit. Brain and Language, 40(1), p.106–144.

(54) Hyde, D. C., Boas, D. A., Blair, C., & Carey, S. (2010). Near-infrared spectroscopy shows right parietal specialization for number in pre-verbal infants. NeuroImage, 53(2), p.647–652.

(55) Izard, V., Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS biology*, *6*(2), e11.

(56) Izard, V., & Dehaene, S. (2008). Calibrating the mental number line. *Cognition*, *106*(3), p.1221–1247.

(57) Keller, K., Menon, V. (2009). Gender differences in the functional and structural neuroanatomy of mathematical cognition. *NeuroImage*, *47*(1), p.342–352.

(58) Kelley, T. L. (1939). The selection of upper and lower groups for the validation of test items. *Journal of Educational Psychology*, *30*(1), p.17–24.

(59) Laloyaux, J. (2012). Projet New World : Evaluation écologique du fonctionnement quotidien. Presented at the Symposium International de Neuropsychologie : Réhabilitation Cognitive et prise en charge Chirurgicale.

(60) Lemer, C. (2003). Acalculie : un examen rapide mais réfléchi du calcul. *Neurologies*, *6*, p.234–239.

(61) Linacre, J. M., Heinemann, A. W., Wright, B. D., Granger, C. V., & Hamilton, B. B. (1994). The structure and stability of the Functional Independence Measure. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *75*(2), p.127–132.

(62) Maslo, M., & Sauve, J. (2005). *La manipulation de la monnaie chez la personne aphasique: élaboration, normalisation et validation d'un protocole d'évaluation*. Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste, Lille II.

(63) Mayer, E., Reicherts, M., Deloche, G., Willadino-Braga, L., Taussik, I., Dordain, M., Van der Linden, M., et al. (2003). Number processing after stroke: anatomoclinical correlations in oral and written codes. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *9*(6), p.899–912.

(64) McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, *4*(2), p.171–196.

(65) Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., et al. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, *53*(4), p.695–699.

(66) Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of Number in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*, *32*(1), p.185–208.

(67) Perros-Durrand H., Issoulié. V. 2009. Orthonumérik : numération et utilisation du nombre dans la vie quotidienne, Ortho Edition.

(68) Pesenti, M. & Séron, X. (2000). Le transcodage des numéraux. *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (p.127–p.166). Solal, Editeur, Marseille.

(69) Pesenti, M., Thioux, M., Séron, X., & De Volder, A. (2000). Neuroanatomical substrates of arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(3), p.461–479.

(70) Pinel, P., & Dehaene, S. (2010). Beyond hemispheric dominance: brain regions underlying the joint lateralization of language and arithmetic to the left hemisphere. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(1), p48–66.

(71) Piras, F., & Marangolo, P. (2009). Word and number reading in the brain: evidence from a voxel-based lesion-symptom Mapping study. *Neuropsychologia*, *47*(8-9), p.1944–1953.

(72) Pizzala-Tonnele, J., Richtarch, M., Université de Montpellier 1, & Faculté de médecine (École d'orthophonie). (2012). *Évaluation de l'utilisation écologique du nombre chez les personnes cérébrolésées - étude de la batterie d'évaluation des*

nombres au quotidien révisée en comparaison avec le test lillois de calcul (TLC2). Mémoire pour le certificat de capacité d'Orthophoniste.

(73) Pradat-Diehl, P., Peskine, A. (2006). *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne*. Springer Science & Business Media, 174 p.

(74) Price, G. R., Mazzocco, M. M. M., & Ansari, D. (2013). Why mental arithmetic counts: brain activation during single digit arithmetic predicts high school math scores. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *33*(1), p.156–163.

(75) Ravaud, J. F., Delcey, M., & Yelnik, A. (1999). Construct validity of the functional independence measure (FIM): questioning the unidimensionality of the scale and the "value" of FIM scores. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, *31*(1), p.31–41.

(76) Renner, C. (2011). [History of phrenology]. *Histoire Des Sciences Médicales*, *45*(3), p.249–256.

(77) Revkin, S. K., Piazza, M., Izard, V., Zamarian, L., Karner, E., & Delazer, M. (2008). Verbal numerosity estimation deficit in the context of spared semantic representation of numbers: a neuropsychological study of a patient with frontal lesions. *Neuropsychologia*, *46*(10), p.2463–2475.

(78) Rochat, L. (2008). Les conceptions et modèles principaux concernant le handicap. Département Fédéral de l'Intérieur DFI, Confédération Suisse.

(79) Rosenberg-Lee, M., Chang, T. T., Young, C. B., Wu, S., & Menon, V. (2011). Functional dissociations between four basic arithmetic operations in the human posterior parietal cortex: a cytoarchitectonic mapping study. *Neuropsychologia*, *49*(9), p.2592–2608.

(80) Roth, C. (2011). Boston Diagnostic Aphasia Examination. In J. S. Kreutzer, J. DeLuca, & B. Caplan (Eds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* (pp. 428–430). Springer New York.

(83) Semenza, C., Delazer, M., Bertella, L., Granà, A., Mori, I., Conti, F. M., Pignatti, R., et al. (2006). Is math lateralised on the same side as language? Right hemisphere aphasia and mathematical abilities. *Neuroscience Letters*, *406*(3), p.285–288.

(84) Semenza, C., Meneghello, F., Arcara, G., Burgio, F., Gnoato, F., Facchini, S., Benavides-Varela, S., et al. (2014). A new clinical tool for assessing numerical

abilities in neurological diseases: numerical activities of daily living. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*.

(85) Séron, X., & Jeannerod, M. (1999). *NEUROPSYCHOLOGIE HUMAINE. 2ème édition* (Édition : Deuxième édition.). Liège: Editions Mardaga.

(86) Séron, & Pesenti. (2000). Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres (Solal., 273p.).

(87) Servant, V., Abada, G., Mintegui, A., Mariller, A., Notteghem, P., Pineau-Chardon, E., Pradat-Diehl, P. et al. (2013). Évaluation écologique des fonctions exécutives chez l'enfant et l'adolescent à travers une activité de vie quotidienne : une tâche de cuisine. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *56*, e296–e297.

(88) Sternberg, R. J., & Frensch, P. A. (2014). *Complex Problem Solving: Principles and Mechanisms*. Psychology Press, 424 pages.

(89) Tarabon-Prévost, C., & Villain, M. (2014). B.E.N.Q. - Batterie d'Evaluation du Nombre au Quotidien. Ortho Edition.

(90) Villain, M. (2009). *Evaluation de la mémoire écologique sur une population de traumatisés crâniens sévères: étude à partir du RBMT*. Mémoire pour l'obtention du Certificat de capacité d'Orthophoniste, UPMC.

(91) Villain, M., Tarabon-Prévost, C., Pradat-Diehl, P, Bernard, B., Bayen, E., Robert, H., & Hurteaux, E. (2015). Ecological Assessment Battery for Numbers in brain damaged patients (EABN): standardization and validity study. 20.

(92) Vogel, S. E., Goffin, C., & Ansari, D. (2015). Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: An fMR-adaptation study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *12*, p.61–73.

(91) Yu, X., Chen, C., Pu, S., Wu, C., Li, Y., Jiang, T., & Zhou, X. (2011). Dissociation of subtraction and multiplication in the right parietal cortex: evidence from intraoperative cortical electrostimulation. *Neuropsychologia*, *49*(10), p.2889–2895.

(94) Zukic, S., Mrkonjic, Z., Sinanovic, O., Vidovic, M., & Kojic, B. (2012). GERSTMANN'S SYNDROME IN ACUTE STROKE PATIENTS. *Acta Informatica Medica*, *20*(4), p.242–243.

ANNEXES

ANNEXE A Évaluations figurant dans le questionnaire médical

ANNEXE B B.E.N.Q. - Extraits du cahier et du livret de passation

ANNEXE C B.E.N.Q.- Normes

ANNEXE D Descriptif de l'ECAN

ANNEXE E ECAN - Extraits du livret de cotation, du cahier de passation et du livret patient

ANNEXE F ECAN - Détail des scores et des temps par patient

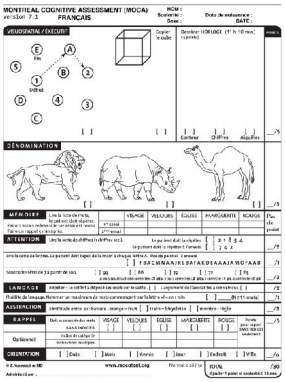
ANNEXE G ECAN - scores et temps moyens selon la localisation lésionnelle

ANNEXE H B.E.N.Q. - Résultats par grands processus de calcul selon la localisation lésionnelle

ANNEXE I Tableau de correspondance entre les épreuves de la B.E.N.Q. et de l'ECAN, tiré du mémoire de Bernard et Hurteaux

ANNEXE A : Évaluations figurant dans le questionnaire médical

a) La MOCA (Nasreddine et al. 2005)(65)

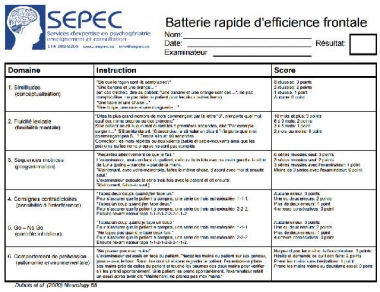


Le Montreal Cognitive Assessment (MoCA) a été conçu pour l'évaluation des dysfonctions cognitives légères. Il évalue les fonctions suivantes : l'attention, la concentration, les fonctions exécutives, la mémoire, le langage, les capacités visuo-constructives, les capacités d'abstraction, le calcul et l'orientation. Le temps d'exécution est de dix minutes approximativement. Le nombre de points maximum est de 30; un score de 26 et plus est considéré normal.

b) La BREF (Dubois et Pillon, 2000)

La Batterie Rapide d'Efficience Frontale ou Frontal Assessment Battery (FAB) est un test neuropsychologique élaboré par Dubois et Pillon en 2000. Cette batterie a pour objectif de pouvoir être effectuée au chevet du patient, a pour vocation d'établir un dysfonctionnement des fonctions exécutives (Dartinet & Martinaud 2005)(29) .

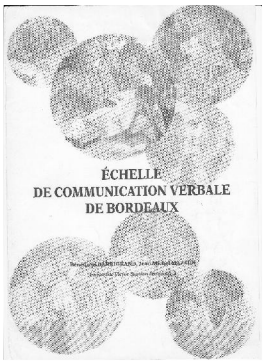
Elle est composée de 6 subtests :



- L'épreuve des similitudes explore l'élaboration conceptuelle ;
- L'épreuve d'évocation lexicale explore la flexibilité mentale, c'est-à-dire la capacité d'adapter ses choix aux contingences ;
- La séquence gestuelle de Luria permet d'explorer la programmation des actes moteurs ;
- L'épreuve des consignes conflictuelles explore la sensibilité aux interférences ;
- L'épreuve Go–No Go explore le contrôle inhibiteur ;
- La recherche d'un comportement de préhension explore l'autonomie environnementale.

c) L'échelle de Communication Verbale de Bordeaux (Darrigand et Mazaux, 2000)

Cette échelle (Darrigrand & Mazaux 2000)(28) permet d'évaluer l'expression des intentions, des conversations, l'utilisation du téléphone, les relations avec les amis, les



commerçants, la lecture de livres, la lecture et l'écriture de lettres, de chèques, de documents administratifs.

Les 34 questions sont posées au patient, qui peut se faire aider d'un proche pour y répondre.

d) BDAE : évaluation de la conversation (Goodglass et Kaplan, 1972)

Le Boston Diagnostic Aphasia Examination (BDAE) (Roth 2011)(80) explore les fonctions linguistiques de façon systématique et quantitative, permet de comparer des aphasiques entre eux et de juger avec précision leur évolution et les progrès réalisés en cours de leur rééducation.
Ce test se compose de trente subtests qui fournissent un état très précis des capacités linguistiques du patient.

Le subtest utilisé ici est celui de l'échelle de gravité de l'aphasie.

Items extraits du "Boston Diagnostic Aphasia Examination (BDAE)" Coter 1/5
Score de 0 à 5 évalué après les épreuves de conversation (A) et de langage spontané (B)
A - CONVERSATION
À partir des éléments ci-dessous, amener le malade à donner le plus d'informations possible.
a Bonjour, comment allez vous ?
b Quel est votre nom ? Et votre prénom ?
c Quel âge avez-vous ?
d Où habitez-vous ? À quelle adresse exacte ?
e Avez-vous déjà passé des tests ?
f Est-ce que vous êtes gêné pour parler ?
g Pensez-vous qu'une rééducation puisse vous aider ?
B - LANGAGE SPONTANÉ
Inciter le patient à parler pendant une dizaine de minutes en relançant si nécessaire la conversation avec des questions telles que :
Quelle est ou quelle était votre profession ?
Pourquoi êtes vous à l'hôpital ? Racontez moi ce qui vous est arrivé.
C - ÉCHELLE DE GRAVITÉ DE L'APHASIE
Apprécier la gravité de l'aphasie d'après l'épreuve de conversation et langage spontané selon les critères suivants :
0 - Aucune expression intelligible et aucune compréhension orale.
1 - Communication par expressions très fragmentaires, nécessitant de la part de l'auditeur beaucoup de déductions, de questions et d'attention. Peu d'informations peuvent être échangées et c'est l'auditeur qui mène la conversation.
2 - Une conversation sur des sujets familiers et concrets est possible avec l'aide de l'auditeur. Le malade est souvent incapable de se faire comprendre, mais il participe au déroulement de la conversation.
3 - Pratiquement tous les sujets courants peuvent être discutés avec peu ou pas d'aide de l'auditeur. Cependant, les troubles de l'expression et/ou de la compréhension rendent difficile ou impossible la conversation sur certains sujets.
4 - Diminution manifeste de la fluence verbale ou de la facilité et de la rapidité de compréhension, sans limitation significative de l'expression ou de la communication.
5 - Handicap linguistique à peine perceptible, ou seulement ressenti par le malade, sans que l'auditeur puisse l'objectiver.

e) La MIF : mesure de l'indépendance fonctionnelle (1986)

La MIF a été développée entre 1984 et 1987 (Granger, C. et coll. 1986)(50) et comporte 18 items mesurés chacun selon 7 niveaux. Plus le score est faible plus l'incapacité est importante. Elle est moins simple que l'indice de Barthel, mais elle est plus complète, comportant des items « moteurs » (A à M) et des items « cognitifs » (N à R) (Delarque et coll. 2006)(34).
Elle permet de comparer des états fonctionnels, de cibler les besoins en rééducation et en réadaptation.

f) L'indice de Barthel (1965)

Cet instrument créé en 1965 est une des échelles d'évaluation de l'autonomie fonctionnelle mesurant la capacité de base du sujet à effectuer des tâches quotidiennes élémentaires (continence, alimentation) et plus élaborées (toilette, locomotion…) dans un ménage.

Il est souvent utilisé pour suivre l'évolution d'une personne à mobilité réduite en période de réadaptation. Il mesure 10 activités, avec un score de 0 (dépendance totale) à 100 (aucune dépendance). Son interprétation :

- état grabataire de 0 à 20,
- > 60 : dépendance permettant d'envisager un retour à domicile
- 100 signifie que le sujet est indépendant (mais pas que le sujet n'a plus de déficience).

L'examinateur interroge à la fois le sujet et son entourage pour effectuer l'évaluation.

g) Qualité de vie

QUALITE DE VIE : (EBIS/172,174) : A L'EXAMEN CE JOUR
Avant d'enregistrer une réponse, posez d'abord la question suivante au blessé et à l'accompagnant :
"Êtes-vous, dans votre vie actuelle, heureux, à l'aise, satisfait, confortable, ayant des projets ? Prenez en compte tous les aspects de votre vie actuelle, sur les plans familial, social et professionnel. Veuillez coter votre degré de satisfaction face à la vie sur l'échelle ci-dessous".

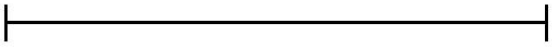
Qualité de vie du blessé :

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
I----------I----------I
Très satisfait Pas du tout satisfait

h) EVA : Échelle d'Évaluation Analogique

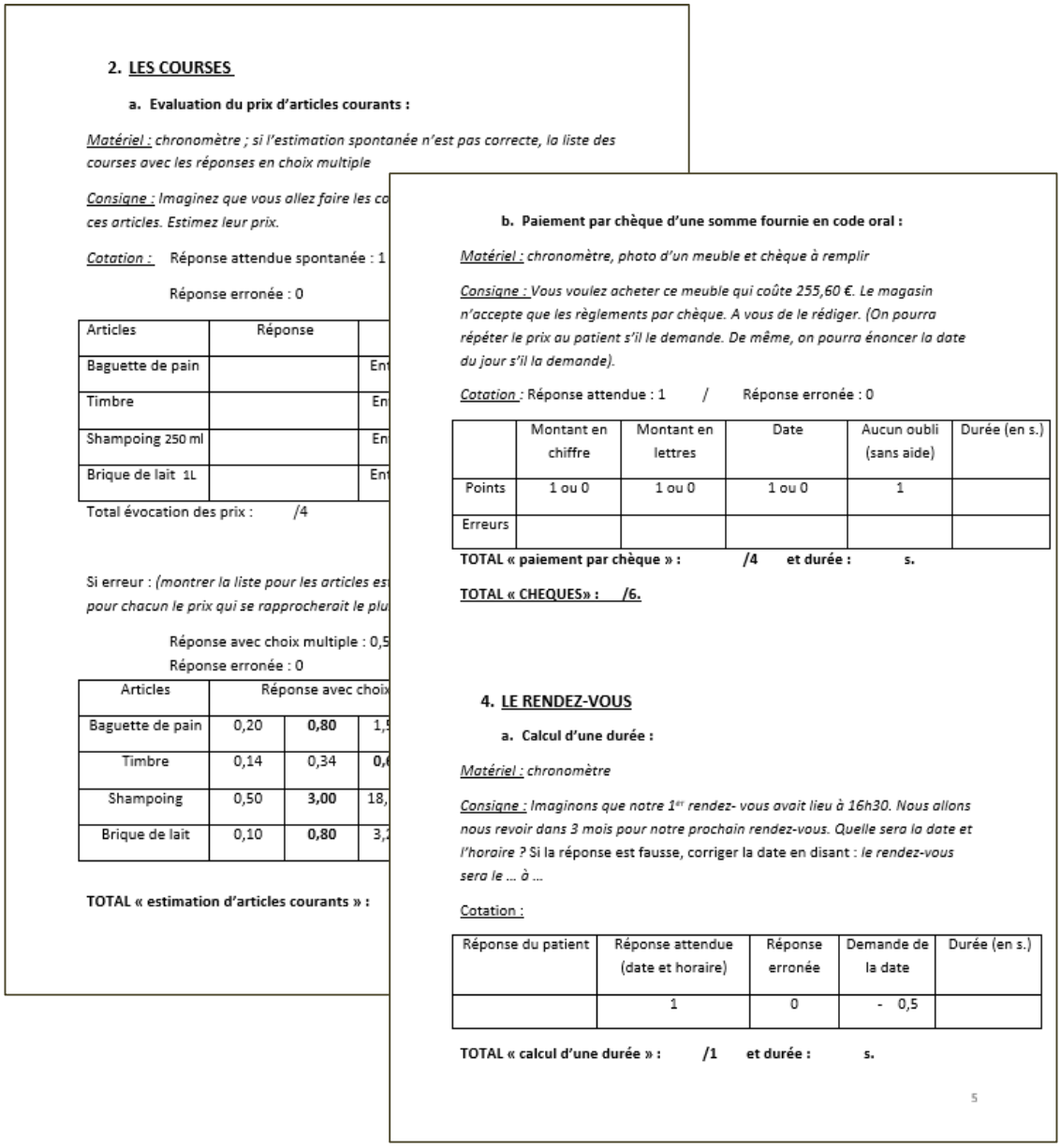
Avez-vous des difficultés concernant les nombres ?

Pas du tout Enormément



ANNEXE B – B.E.N.Q.

Extrait du cahier de passation



2. LES COURSES

a. Evaluation du prix d'articles courants :

Matériel : chronomètre ; si l'estimation spontanée n'est pas correcte, la liste des courses avec les réponses en choix multiple

Consigne : Imaginez que vous allez faire les co ces articles. Estimez leur prix.

Cotation : Réponse attendue spontanée : 1

Réponse erronée : 0

Articles	Réponse	
Baguette de pain		Ent
Timbre		En
Shampoing 250 ml		En
Brique de lait 1L		Ent

Total évocation des prix : /4

Si erreur : *(montrer la liste pour les articles es pour chacun le prix qui se rapprocherait le plu*

Réponse avec choix multiple : 0,5

Réponse erronée : 0

Articles	Réponse avec choix		
Baguette de pain	0,20	**0,80**	1,5
Timbre	0,14	0,34	**0,**
Shampoing	0,50	**3,00**	18,
Brique de lait	0,10	**0,80**	3,

TOTAL « estimation d'articles courants » :

b. Paiement par chèque d'une somme fournie en code oral :

Matériel : chronomètre, photo d'un meuble et chèque à remplir

Consigne : Vous voulez acheter ce meuble qui coûte 255,60 €. Le magasin n'accepte que les règlements par chèque. A vous de le rédiger. (On pourra répéter le prix au patient s'il le demande. De même, on pourra énoncer la date du jour s'il la demande).

Cotation : Réponse attendue : 1 / Réponse erronée : 0

	Montant en chiffre	Montant en lettres	Date	Aucun oubli (sans aide)	Durée (en s.)
Points	1 ou 0	1 ou 0	1 ou 0	1	
Erreurs					

TOTAL « paiement par chèque » : /4 et durée : s.

TOTAL « CHEQUES» : /6.

4. LE RENDEZ-VOUS

a. Calcul d'une durée :

Matériel : chronomètre

Consigne : Imaginons que notre 1er rendez- vous avait lieu à 16h30. Nous allons nous revoir dans 3 mois pour notre prochain rendez-vous. Quelle sera la date et l'horaire ? Si la réponse est fausse, corriger la date en disant : *le rendez-vous sera le … à …*

Cotation :

Réponse du patient	Réponse attendue (date et horaire)	Réponse erronée	Demande de la date	Durée (en s.)
	1	0	- 0,5	

TOTAL « calcul d'une durée » : /1 et durée : s.

5

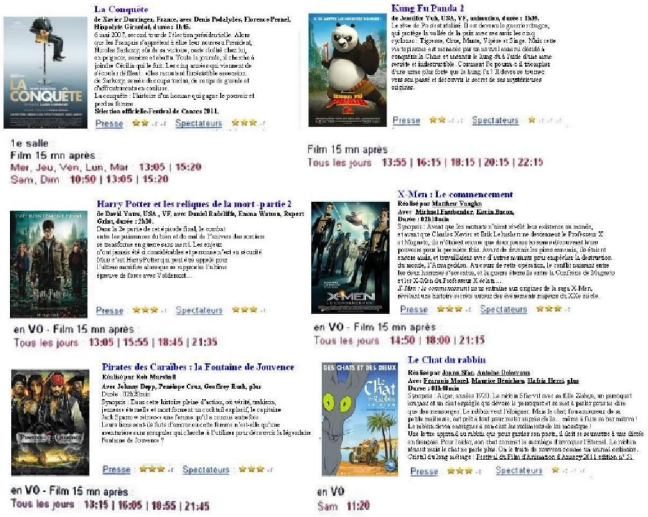
B.E.N.Q.- Extraits du livret patient

Épreuve 1 : Lecture de l'heure

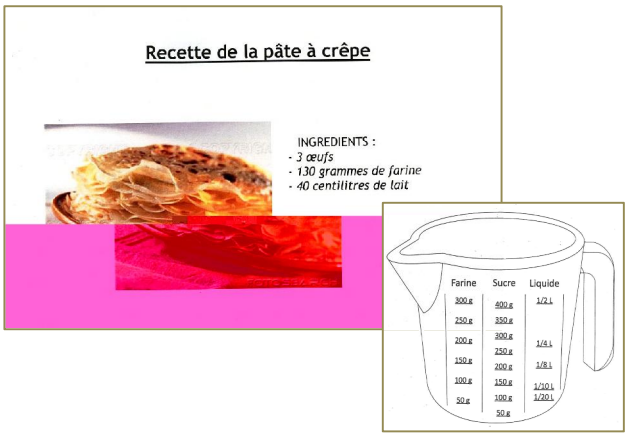
04:40

05:25

Épreuve 5 : Le cinéma



Épreuve 7 : La recette



ANNEXE C : Normes B.E.N.Q.

Subtests	Moyenne	Ecart-type	% de sujets ayant obtenu		Effet de l'âge	Effet du sexe	Effet du NSC
			Score min	Score max			
Heure	3,86	0,33	0	96	p <0,05*	n.s	p <0,0001*
Courses	7,75	1,23	0	26	p <0,05*	n.s	p <0,0001*
Chèques	4,91	1,25	0	43	p <0,05*	n.s	p <0,0001*
RDV	8,78	0,48	0	79	n.s	n.s	n.s
Cinéma	3,29	1,06	1	62	n.s	n.s	p <0,0001*
Digicode	0,99	0,09	1	99	n.s	n.s	n.s
Recette	1,18	0,65	13	32	n.s	n.s	p <0,0001*
Lecture	4,82	0,44	0	85	n.s	n.s	p <0,0001*
TOTAL	**35,58**	**3,47**	**0**	**8**	**n.s**	**n.s**	**p <0,0001***

Résultats de la normalisation par sous-épreuves et effets des variables démographiques.

Subtest	Note max	NSC1				NSC2				NSC3			
		μ	IC à 95%	σ	c 5	μ	IC à 95%	σ	c 5	μ	IC à 95%	σ	c 5
Heure	4	3,7	[3,55 ; 3,82]	0,5	3	3,9	[3,82 ; 3,97]	0,3	3,5	4	[3,93 ; 4,00]	0,1	4
Courses	9	7,3	[6,90 ; 7,71]	1,4	4,5	7,6	[7,29 ; 7,99]	1,2	5,5	8,3	[8,01 ; 8,57]	0,9	6,5
Chèques	6	4,2	[3,76 ; 4,71]	1,6	1	5,1	[4,84 ; 5,43]	1	3	5,3	[5,08 ; 5,57]	0,8	4
RDV	9	8,8	[8,65 ; 8,98]	0,5	8	8,8	[8,65 ; 8,98]	0,5	7,5	8,8	[8,65 ; 8,98]	0,5	8
Cinéma	4	2,9	[2,48 ; 3,24]	1,3	1	3,3	[2,95 ; 3,56]	1	1	3,7	[3,54 ; 3,94]	0,7	2
Digicode	1	1	[0,92 ; 1,02]	0,2	1	1	[0,92 ; 1,02]	0,2	1	1	[0,92 ; 1,02]	0,2	1
Recette	2	0,9	[0,75 ; 1,08]	0,6	0	1,1	[0,85 ; 1,25]	0,7	0	1,6	[1,40 ; 1,73]	0,6	1
Lecture	5	4,7	[4,47 ; 4,84]	0,6	4	4,9	[4,81 ; 4,98]	0,3	4	4,9	[4,81 ; 4,99]	0,3	4
TOTAL	**40**	**33**	**[32,14;34,63]**	**4,1**	**27,5**	**36**	**[34,90;36,54]**	**2,7**	**30,5**	**38**	**[37,07;38,17]**	**1,8**	**34**

Normes stratifiées pour les différentes épreuves et le score total avec : μ : moyenne ; IC : Intervalle de Confiance ; σ : écart-type ; c 5 : centile 5. Le centile 5 peut être considéré comme étant le seuil pathologique.

Subtest	NSC1			NSC2			NSC3		
	μ	σ	c 95	μ	σ	c 95	μ	σ	c 95
Heure	27	12	40	25	8	41	23	6	32
Courses	123	69	235	98	43	191	89	31	145
Chèques	101	51	215	87	30	134	71	21	111
RDV	137	78	269	108	35	148	96	31	131
Cinéma	63	41	128	54	36	125	40	21	74
Digicode	4	2	8	4	2	8	3	1	6
Recette	57	28	107	48	25	93	40	32	97
Lecture	15	5	26	14	5	17	14	4	24
TOTAL	525	243	1128	437	137	694	376	94	514

Normes stratifiées pour le temps de passation, exprimé en secondes avecμ : moyenne ; σ : écart-type ; c 95 : centile 95. Le centile 95 peut être considéré comme étant le seuil pathologique.

ANNEXE D : descriptif de l'ECAN

A. Les nombres

1. Comptage oral
    a. Comptage oral entre deux bornes
    b. Comptage oral à rebours entre deux bornes
    c. Comptage oral par pas
2. Dénombrement
3. Compréhension des nombres
    a. Désignation de nombres arabes
    b. Désignation de numéraux verbaux écrits
4. Jugement de parité
5. Jugement de grandeur
    a. Jugement de grandeur entre deux nombres arabes
    b. Jugement de grandeur entre deux numéraux verbaux écrits
    c. Jugement de grandeur entre deux numéraux verbaux oraux
6. Placement d'un nombre sur une échelle de 0 à 100

B. Transcodages

1. Lecture à haute voix de nombres arabes
2. Lecture à haute voix de numéraux verbaux écrits
3. Écriture sous dictée de nombres arabes
4. Écriture sous dictée de numéraux verbaux écrits
5. Écriture de numéraux verbaux écrits à partir de nombres arabes
6. Écriture de nombres arabes à partir de numéraux verbaux écrits
7. Production de numéraux arabes à partir d'un schéma de jetons
8. Établissement d'un schéma de jetons correspondant à un nombre écrit en chiffres arabes

C. Calcul

1. Calcul mental sur les faits arithmétiques et sur les règles
    a. Additions
    b. Soustractions
    c. Multiplications
    d. Divisions
2. Calcul mental
3. Calcul écrit
4. Calcul exact à choix multiple
    a. Additions
    b. Multiplications
5. Calcul approximatif à choix multiple
    a. Additions
    b. Multiplications
6. Etude des principes arithmétiques
    a. Additions
    b. Multiplications
7. Résolution de problèmes simples

D. Connaissances usuelles des nombres

1. Connaissances sémantiques des nombres
2. Jugement de grandeur contextuelle
3. Horloges

ANNEXE E : Extraits de l'ECAN

Extraits du livret de cotation

A5b - Jugement de grandeur entre 2 numéraux verbaux écrits

Consigne : *« Sur chaque page il y a deux nombres, montrez-moi le plus grand des deux »*
Exemple : sept vs quatre

CIBLE	6 vs **9**	12 vs **21**	**19** vs 14	**97** vs 70	**80** vs 20	6 vs **10**	**200** vs 102	120 vs **203**	1 040 vs **4 000**	189 vs **636**
REPONSE										
CIBLE	**9 016** vs 3 150	**3 210** vs 2 310	256 vs **258**	**5 206** vs 5 204	73 352 vs **73 353**	**55 120** vs 55 102	**90 803** vs 90 527	26 222 vs **26 224**	40 100 vs **41 000**	**155 000** vs 150500
REPONSE										

Commentaires : .....

SCORE ____/20 TEMPS ____

A5c - Jugement de grandeur entre 2 numéraux verbaux oraux

Consigne : *« Je vais vous dire deux nombres, dites moi quel est le plus grand des deux »*
Exemple : sept vs quatre

CIBLE	6 vs **9**	12 vs **21**	**19** vs 14	**97** vs 70	**80** vs 20	6 vs **10**	**200** vs 102	120 vs **203**	1 040 vs **4 000**	189 vs **636**
REPONSE										
CIBLE	**9 016** vs 3 150	**3 210** vs 2 310	256 vs **258**	**5 206** vs 5 204	73 352 vs **73 353**	**55 120** vs 55 102	**90 803** vs 90 527	26 222 vs **26 224**	40 100 vs **41 000**	**155 000** vs 150500
REPONSE										

Commentaires : .....

SCORE ____/20 TEMPS ____

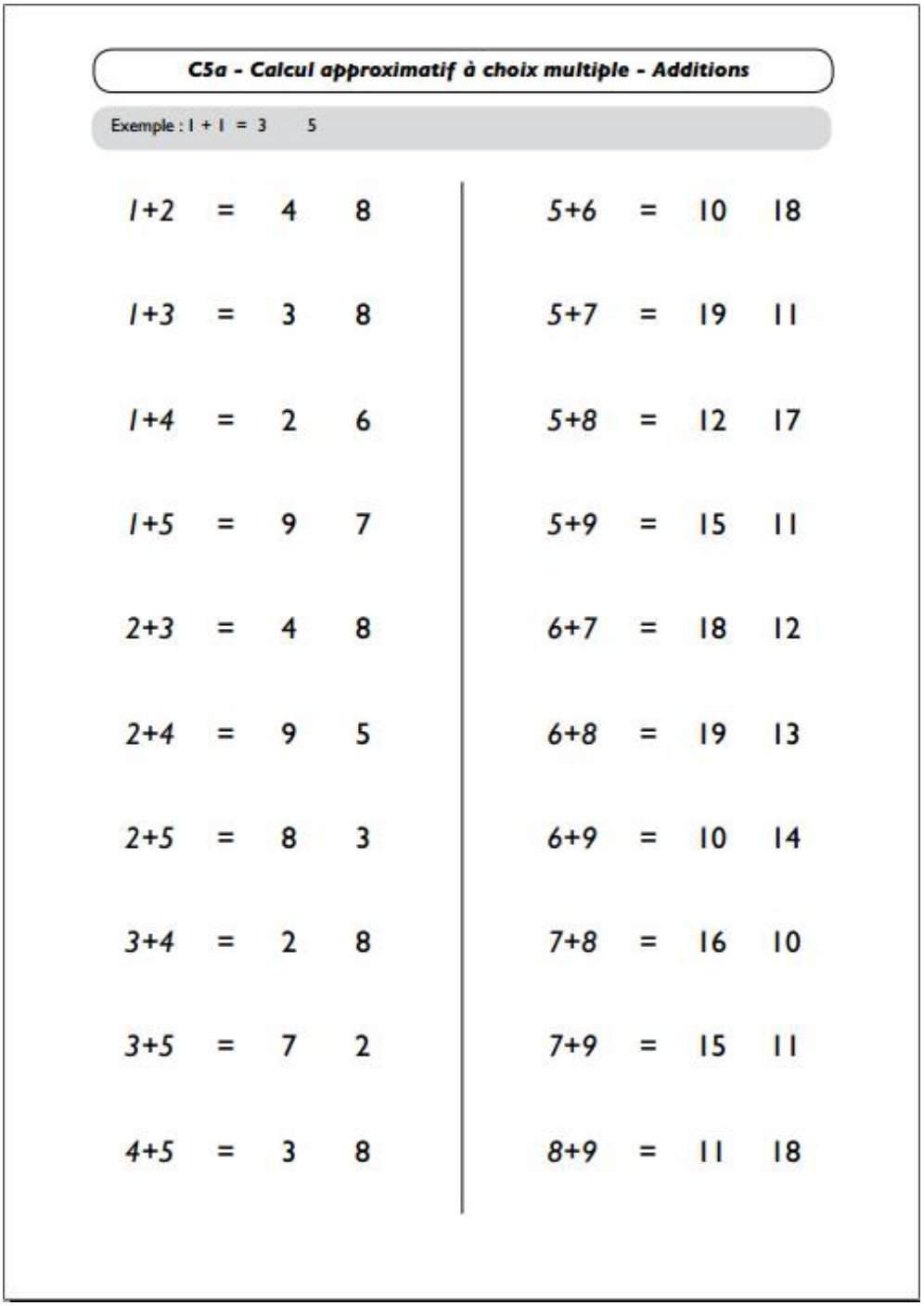
7

Extrait du cahier de passation

A5b Jugement de grandeur entre deux numéraux verbaux écrits

6	12
9	21

ECAN : Extraits du cahier patient



C5a - Calcul approximatif à choix multiple - Additions

Exemple : 1 + 1 = 3 5

1+2	=	4	8	5+6	=	10	18
1+3	=	3	8	5+7	=	19	11
1+4	=	2	6	5+8	=	12	17
1+5	=	9	7	5+9	=	15	11
2+3	=	4	8	6+7	=	18	12
2+4	=	9	5	6+8	=	19	13
2+5	=	8	3	6+9	=	10	14
3+4	=	2	8	7+8	=	16	10
3+5	=	7	2	7+9	=	15	11
4+5	=	3	8	8+9	=	11	18

ANNEXE F : Détail des scores et temps à l'ECAN

	A-LES NOMBRES							B-LES TRANSCODAGES							C-CALCULS							D-CONN.		
PATIENTS	1-Comptage oral	2-Dénombrement	3-Compréhens° nbres	4-Jugement de parité	5-Jugement grandeur	6-Placement échelle	7-Production NA	8-Schéma de jetons	1-Calcul mental sur FA	2-Calcul mental	3-Calcul écrit	4-Calcul ex.choix mult	5-Calcul approx choix mult	6-Principes arithm	7-Résolution pbs simples	1-Connaissances sémantiques	2-Jugemt grandeur contextuelle	3-Horloges	1-Comptage oral	2-Dénombrement	3-Compréhens° nbres	4-Jugement de parité	5-Jugement grandeur	6-Placement échelle
1	45,3	15,8	21,9	21,8	23,9	22,0	51,7	64,0	17,0		31,0	19*	31,8	86,8	19,1	57,6	18,7	76,6	21,6	24,8	59,3	35,3	29,5	28,1	33,04	15,31	132			
2	20,6	35,3	47,6	40,7	55,1	61,9	71	62	143	53	424	54,6	107,4	73,5	34	48,9	67,7	18,9	46,1	46,1	93,3	43,26	48	45	49,41	35,2	68	67	41	55
3	104,1	81,41	112,3	91,81	86	111,9	207,9	333	76	243	101	241*	88,5	190,1	100,4	218,4	89,2	129	423	86,5	99,1	141,2	108,4	96	118,2	114,2	73,83	159	289	190	84
4	30,7	20,4	14,3	22,4	20,2	22,8	44,7	37	23	53	23	36	19	50,8	30,7	39,1	21,4	31,7	126,3	19	18,7	77,7	20,73	24	25	50,68	23	24	179	52	43
5	612,2	204,8	287,2	349,9	275,3	340,7	627,5	405*	278	263*	439	390*	305,1	487,1	379,4	384,9	284,6	3298	285,6	312,5	338,3	406,8	3016	363	435	362,1	231	413	467	506	287
6	135,8	37,0	101,6	46,6	50,1	105,6	78	87	51	63	130	84	34,3	64,7	118,2	52	108,3	99,3	60,48	54,5	46,3	58,4	104,2	68	71	38,36	47	64	101	187	54
1	42	21,1	27	28,9	22,6	31,5	60	92	34	71*	29		78,2	80	26,1	198,8	31,8	20,3	194,7	40,8	48,7	88,2	35,49	28	39	44,44	19,82	39		58	46
2	57,8	35,3	42,56	43,3	33,2	32,6	116,1	134	29	61*	40		68,5	101,7	28,9	170,3	30,6	25,8	300	45,2	55,2	52,2	47,18	39	41	59,41	22,92	67		60	46
3	151	64,2	60,0	76,2	64,7	89,9	220,4	153*	109	109*	68	199*	115,6	365,1	67,3	122,9	72,6	238,7	175,8	68	155,3	1794	76,15	84	95	121	53,89	268		174	166
4	207,5	166,4	155,5	218,0	193,5	177,2	946,4	49*	443	142,*	179		323,5	41,9*	185,3	429,4	232,2	241,5	144	273,3	434,3	367*	210,2	277	337	429,2	157	688		390	603
5	69,9	52,4	56,6	78,0	62	59,0	573,1	61*	90	108*	61			59,8	210,4	79,7	84,7	263,4	90,9	152,6			88,66	78	121	191,2	49,9	518		131	157
6	85	25,6	21	36,2	19,5	29,7	132,8	188	40	102	54	151*	62,3	328,5	29,2	121,6	35,8	43,4	96,63	26,1	73,1	141,8	63,49	28	36	54,54	16,22	132		59	250
7	134,6	46	99,3	94,2	64,9	115,7	129,6	275	67	125*	101	303	109,6	344,7	126,4	194,6	103	1304	157,3	55,9	75,4	911,1	78,81	95	77	37	44,35	147	227	149	81
8	137,1	63,9	78,6	74,1	54	105,3	96,7	158	60	207	81	193	89,2	196,8	91,2	125,7	92,2	1029	128,6	75,6	75,4	1111	122,8	70	109	88,66	43,06	150	129	181	69
1	293,2	170,7	139,5	514,6	907,8	596,9	841,1	528	269	395**	347	0	472,2	988,8	276,2	784	1997	2783	488,1	473,3	594,6	1082	326,7	336	619	382,5	142,6	363			264
2	347,1	158,8	97,2	293	535	907,4	565,8	182	176		292		232,9	376,5	277,6	392,3	223,7	173,3	369,6	378,4	531,8	3124	223,6	283	452	388,3	124,7	659		216	155
3	286,7	185,3	99,4	434	724	184,0	606,5	727	83	189*	360	137*	210,9	730,9	119,5	486,3	357,6	152,7	250,9	271,7	450,4	3501	219,9	729	298	350	186,2	327	738	168	215
4	139,9	76,47	83,53	140,6	127,9	226,4	357,9	388	81	218	186	378*	99	312,4	72,1	276,3	92,1	1394	257,5	171,6	173,6	186,9	209,8	138	161	143	67,66	179	668	243	121
5	158,4	127,9	132,3	175,0	408,0	205,8	366,7	630,0	106,0	117,0	195,0		169	368,9	117,8	263,4	127,5	232,4	363,8	216,4	337	333	221,2	198	281	206	80,51	223		289	139
6	383,7	250,7	163,7	285	275	945	1123	207*	658	377			330	1854	337,3	401,3	325,9	675	557	262,2	305,9	550,4	606,2	308	372	362,2	223,6	850		881	304
7	526,3	367,9	166,1	464	469,3	690,1	991,9	101*	232	280*	330		223,3	1250	568,7	516,3	362,5	369,3	940,3	658,6	447,8	1626	730,5	229	1257	596,3	188,8	919		483	267
1	100,1	46,1	45,4	52,3	59,6	60,0	115,6	174	54	72	51	168*	58,9	102,5	40,3	92,8	43,1	63,7	199,5	66,9	42,1	177,7	55,15	50	72	69	40,09	43	180		76
2	31,1	17,2	20,8	18,4	23,4	28,4	106	182	21	86	22	72	25,2	42,2	22,4	21,7	35,5	29,7	120,1	22,9	27,6	43,9	25,84	20	26	36,52	18,04	18	180		24
3	176,1	56,8	95	91,1	89,0	93,4	150,4	254	111		132		114,2	158	42	300	78,9	134,7	368,4	89,7	93,6	231,7	116,7	102	161	104	40	110		173	65

	A-LES NOMBRES							B-LES TRANSCODAGES							C-CALCULS							D-CONN.		
PATIENTS	1-Comptage oral	2-Dénombrement	3-Compréhens° nbres	4-Jugement de parité	5-Jugement grandeur	6-Placement échelle	7-Production NA	8-Schéma de jetons	1-Calcul mental sur FA	2-Calcul mental	3-Calcul écrit	4-Calcul ex.choix mult	5-Calcul approx choix mult	6-Principes arithm	7-Résolution pbs simples	1-Connaissances sémantiques	2-Jugemt grandeur contextuelle	3-Horloges	1-Comptage oral	2-Dénombrement	3-Compréhens° nbres	4-Jugement de parité	5-Jugement grandeur	6-Placement échelle
1	20	20	20	20	20	20	20	19		15	3	20	5	20	19	20	18	0	15	20	9	20	20	20	20	10	0*	19*	20*	
2	10	10	10	10	8	10	6	5	9	7	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	7	9	10	
3	20	20	20	20	19	16	7	20	6	18	10	17	14	20	12	19	17	7	19	17	0	13	20	19	17	20	19	2	18	20
4	10	10	10	10	10	9	10	10	9	10	7	10	10	10	10	10	10	4	10	10	4	10	10	10	10	10	10	7	10	
5	58	60	55	60	55	60	56	37	56	35	58	42	58	50	58	59	36	57	59	44	59	60	56	52	60	58	36	56	58	
6	9	10	8	10	10	9	7	8	10	5	8	10	9	10	9	10	9	9	7	9	10	10	10	10	10	8	10	6	9	
1	20	20	20	20	20	20	17	19	2	18		19	8	20	9	20	20	4	19	19	0	20	20	20	20	20	2*	20	20	
2	20	20	20	20	20	13	18	20	2	20		20	7	20	11	20	20	9	19	18	1	20	19	20	18	20	18	2*	20	
3	19	19	20	20	20	18	20	4	20	3	18	7	19	8	20	16	20	20	3	20	19	1	19	20	19	18	20	0*	20	
4	19	20	19	19	20	18	9	2	20	4	20		18	0	13	20	20	20	3	20	18	17	0	20	10	20	15	19	11	0*	17
5	10	10	10	10	10	10	2	1	10	2	10		9	0*	10	8	10	10	8	9	10		20	10	10	10	10	10	0*	10	10
6	9	10	10	10	9	10	7	10	2	10	2	8	6	8	3	10	8	8	9	10	6	7	9	10	10	10	10	10	0*	9	9
7	8	8	9	10	9	10	9	0	9	0	9	10	9	3	8	9	10	10	10	6	10	6	10	10	10	10	10	9	9	10	10
8	10	10	10	10	10	10	10	10	5	9	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10	9
1	99	97	99	95	93	87	80	84	93	28	84	54	94	70	98	97	52	96	91	51	93	94	91	87	95	47*	93*	99		
2	16	20	18	18	16	14	10	4	15		16		12	2	19	15	18	16	7	17	19	1	14	20	15	7	19	13	0*	19	19
3	9	8	10	7	8	2	4	5	9	2	5	0	7	2	9	4	10	8	3	8	6	3	6	8	8	6	9	2	2	5	10
4	40	40	40	40	39	38	38	38	40	38	38	21	39	35	40	34	40	40	36	40	37	35	40	40	40	40	40	40	40	20	
5	39	40	37	40	39	38	35	28	39	24	38	2	35	25	40	34	40	39	27	40	38	26	40	39	38	36	40	40	19*	40	40
6	28	29	30	30	24	24	18	1	24	15	22		28	27	22	27	28	22	27	26	30	25	27	21	0*	20	28				
7	10	10	10	10	8	5	3	0	6	0	4		7	1	7	5	8	8	4	8	10	5	9	9	9	7	10	5	0*	8	7
1	8	10	9	8	7	5	7	4	7	4	8	0	9	6	10	5	10	10	6	8	10	5	6	9	9	9	10	3	9*	9	
2	5	5	5	5	5	5	4	0	5	2	5	4	4	5	5	5	5	4	3	4	5	2	5	4	4	5	5	2	5*	5	
3	19	20	20	19	19	14	13	15	19		17		20	18	20	18	20	17	20	20	19	20	17	19	20	20	14	0*	18	20	

* : abandon ou impossibilité de réaliser l'épreuve

ANNEXE G : ECAN - scores et temps moyens selon la localisation lésionnelle

N droits = 9 *N gauches = 17*	**Score Nombre /130**	**Scores Transcodage /120**	**Scores Calcul /250**	**Scores Connaissances /35**	**Temps Nombres**	**Temps Transcodages**	**Temps Calcul**	**Temps Connaissances**
Patients cérébrolésés **droits**	124*	115*	232*	31	665s	669s*	2010s	181
Patients cérébrolésés **gauches**	101*	82*	178*	25	820s	1156s*	2719s	294

*« * » : Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05*

ANNEXE H : B.E.N.Q. – Résultats par grands processus de calcul selon la localisation lésionnelle

Lecture de l'heure	1A	Cadrans analogiques
	1B	Cadrans digitaux
Courses	2A	Estimation prix
	2B	Calcul montant total
	2C	Paiement espèces
	2D	Vérification calculatrice
Chèque	3A	Calcul pourcentage
	3B	Paiement chèque
RDV	4A	Calcul durée
	4B	Agenda
	4C	Ecriture coordonnées
	4D	Donner ses coordonnées
Cinéma	5A	Choix horaire
	5B	Vérification monnaie
Digicode	6	Composition code
Recette	7	Quantités verre doseur
Lecture nombres	8A	Coordonnées
	8B	Phrases

= Transcodages
= Calcul mental
= Estimation

SCORES MOYENS PAR PROCESSUS A LA B.E.N.Q. SELON LA LOCALISATION LESIONNELLE

Localisation lésionnelle	Effectif	Moyenne globale PROCESSUS TRANSCODAGE	Moyenne globale PROCESSUS CALCUL	Moyenne globale PROCESSUS ESTIMATION
Droite	9	23,5	5,5	4,6
Gauche	17	16	4,4	4

*Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05

TEMPS MOYENS PAR PROCESSUS A LA B.E.N.Q. SELON LA LOCALISATION LESIONNELLE

Localisation lésionnelle	Effectif	Moyenne globale PROCESSUS TRANSCODAGE	Moyenne globale PROCESSUS CALCUL	Moyenne globale PROCESS ESTIMATION
Droite	9	311,9*	261,2*	128,9
Gauche	17	708,6*	391,8*	158,7

*Moyennes significativement différentes, test non paramétrique de Wilcoxon, p<0,05

ANNEXE I : Tableau de correspondance entre les preuves de la B.E.N.Q. et de l'ECAN, tiré du mémoire de Bernard et Hurteaux

Epreuves BENQ-R²	Sous épreuves BENQ-R²	Epreuves ECAN
1. Lecture de l'heure	Cadrans analogiques	
	Cadrans digitaux	D.3 Horloges
2. Les courses	Evaluation du prix d'articles courants	D.2 Jugement de grandeur contextuelle
	Calcul approximatif d'un montant total	C.5 Calcul approximatif à choix multiple
	Paiement en espèces d'une somme exacte	C.2 Calcul mental
	Vérification d'un montant total à la calculatrice	
3. Le chèque	Calcul d'un pourcentage	C.7 Résolution de problèmes simples C.3 Calcul écrit
	Paiement par chèque d'une somme fournie en code oral	B.3 Ecriture sous dictée de nombres arabes B.4 Ecriture sous dictée de numéraux verbaux écrits
4. Le rendez-vous	Calcul d'une durée	C.2 Calcul mental C.7 Résolution de problèmes simples
	Repérage d'une date et d'une heure sur un agenda	
	Ecriture sous dictée de coordonnées	B.3 Ecriture sous dictée de nombres arabes
	Donner ses propres coordonnées	
5. Le cinéma	Choix d'un horaire en fonction de données temporelles	C.2 Calcul mental C.7 Résolution de problèmes simples
	Vérification et calcul de monnaie rendue	C.2 Calcul mental
6. Le digicode	Composition d'un code donné à l'oral	A.3 Désignation de nombres arabes
7. La recette de cuisine	Placement de quantités sur une échelle	A.8 Placement d'un nombre sur une échelle de 0 à 100
8. Lecture de données chiffrées	Lecture de coordonnées	B.1 Lecture à haute voix de nombres arabes
	Lecture de phrases contenant des données chiffrées	B.1. Lecture à haute voix de nombres arabes

Tableau de correspondance entre les épreuves de la BENQ-R² et celles de l'ECAN