UNIVERSITE LUMIERE LYON 2
Institut de Psychologie

Ecole Doctorale Education, Psychologie,
Information et Communication

Laboratoire Parcours
Santé Systémique

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le 5 juillet 2017 par

Nicoleta PETROIU

Pour obtenir le grade de : Docteur de l'Université Lumière Lyon 2
Discipline : Psychologie

IMPLANTATION DES NOUVELLES MÉTHODES ET TECHNIQUES DANS L'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES SOURDS ET MALENTENDANTS

THÈSE DIRIGÉE PAR :
Monsieur Serge PORTALIER, Professeur émérite des Universités, Université Lyon 2

MEMBRES DU JURY :

Professeure Martine BOUVARD, Université Savoie Mont Blanc
Professeur Jaime LOPEZ-KRAHE, Université Paris 8
Professeur Serge PORTALIER, Université Lyon 2
Professeur René PRY, Université Lyon 2

« La technologie est non-importante.
Ce qui est important est de faire confiance aux
gens, au fait qu'à la base ils sont bons et
intelligents et si on leur donne des outils, il vont les
utiliser pour créer des choses merveilleuses »

« La technologie seule ne suffit pas »

Steve Jobs

Dédicace

A la mémoire de ma marraine Nicolita.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier le Professeur Serge Portalier pour avoir accepté de diriger ma thèse. Merci pour votre encadrement, pour votre aide, pour vos précieux conseils et surtout pour la confiance que vous m'avez accordée au cours de cette tranche de vie. Je vous suis très reconnaissante de m'avoir soutenue tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des membres de mon jury, Madame Martine Bouvard et Messieurs Jaime Lopez-Krahe et René Pry, qui me font l'honneur de juger cette thèse. Leur regard et leur expérience me permettront d'être plus perspicace et engagée dans mes futures recherches.

J'exprime ma plus vive gratitude à toute l'équipe d'iNovaction Services, sans vous, cette thèse n'aurait pas vu le jour. Je vous suis profondément reconnaissante de votre professionnalisme et implication qui a dépassé la simple obligation contractuelle.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur Yves Beroujon, Directeur du Dispositif Surdité et Troubles du Langage ainsi qu'à Madame Laurence Roseau Bidon, chef du Service paramédical et psychologique du Dispositif Surdité et Troubles du Langage, SSEFIS Recteur Louis, O.V.E. et à Monsieur David Carmille, coordinateur pédagogique.

Egalement, je remercie aux enseignants spécialisés des différents établissements scolaires de la région Rhône-Alpes qui ont participé à cette recherche. Une pensée toute particulière est adressée à Mme Virginie Roussel, enseignante spécialisée au collège Dargent de Lyon. Je lui remercie pour son aide et ses conseils.

Je tiens à remercier les élèves qui ont participé à cette étude et aussi aux parents d'avoir autorisé la participation de leurs enfants.

Merci aussi à ma chère amie Pauline, psychologue et doctorante à l'Université Lyon 2. Merci pour ton aide et ton soutien moral. Ton courage m'a donné de la force pour continuer le combat.

Enfin, j'exprime ma plus vive gratitude à ma famille, surtout à mes parrains pour le soutien permanent qu'ils m'ont apporté.

Résumé

Cette recherche propose d'étudier et de présenter des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, pourrait permettre la création de didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des enfants sourds.

Dans le contexte actuel, notre hypothèse est que les nouvelles technologies informatiques et les outils numériques (comme les tablettes tactiles) influenceraient positivement le processus d'apprentissage des élèves sourds et malentendants.

En conséquence, nous avons créé un logiciel éducatif, *Digisthésia*, qui a été conçu et adapté aux besoins des élèves sourds et malentendants. Le but de cet outil était de développer et d'améliorer 4 des principales potentialités cognitives : l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution de problèmes.

Notre protocole a mobilisé 80 élèves de 7 collèges de Lyon et de la périphérie lyonnaise : 40 élèves avec différents degrés de déficience auditive, des sujets implantés et appareillés (20 participants ont utilisé le logiciel éducatif *Digisthésia*/20 personnes ont fait partie du groupe de contrôle) ainsi que 40 élèves sans déficiences auditives (20 participants qui ont utilisé notre logiciel éducatif sur tablette tactile/20 élèves ont fait partie du groupe témoin).

Les résultats indiquent que la médiation par les nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves sourds et malentendants. Nous avons observé un progrès au niveau de l'apprentissage des participants sourds et malentendants suite à l'utilisation du logiciel éducatif *Digisthésia* sur tablette tactile.

Mots-clés : déficience auditive, appareillage et implant cochléaire, apprentissage, développement cognitif, nouvelles technologies, tablette tactile, logiciel éducatif, TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement), EIAHs (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain).

Abstract

This research proposes to study and present materials that can improve the learning process for people who are hard of hearing and deaf by leveraging the use of new tools such as touch tablets. The question is whether the introduction of these new tools could allow the creation of software tools that more adapted to the cognitive specificities of deaf children.

In the current context, our hypothesis is that new computer-based technologies and digital tools (such as touch tablets) would positively influence the learning process for students who are deaf and hard of hearing.

As a result, we have created the educational software *Digisthésia* that has been designed and adapted to the needs of students who are deaf and hard of hearing. The aim of this tool was to develop and improve 4 important cognitive parameters such as attention, memory, processing speed and problem solving.

Our protocol mobilized 80 students from grade schools from and near Lyon: 40 students suffering from different degrees of hearing impairment, with and without cochlear implants (20 subjects used the tablet/20 subjects were part of the control group). As well as 40 students with no hearing impairments (20 subjects who used the educational software *Digisthésia* and the tablet/20 subjects who were part of the control group).

The results indicate that leveraging the new technologies has enhanced the cognitive potential of deaf and hard of hearing students. We have seen progress in the learning of deaf and hard of hearing participants as a result of the use of tablets and our software.

Keywords : hearing impairment, apparatus and cochlear implant, learning, cognitive development, new technologies, touch pad, educational software, ICT (Information and Communication Technology), ICTE (Information and Communication Technologies for Education), CEHL (Computer Environments for Human Learning).

Sommaire

Introduction générale ____ **13**

Chapitre 1. Approche théorique ____ **17**

I. La surdité et les principales caractéristiques des personnes sourdes et malentendants ____ **19**

A. La surdité en France : définition et statistiques ____ 19

B. Classification ____ 20

C. Etiologie ____ 23

D. Surdité, privation et compensation sensorielle ____ 25

E. Relations systémiques et la Théorie de la Vicariance sensorielle ____ 25

F. La prise en charge des enfants déficients auditifs ____ 28

G. Quelques particularités des personnes sourdes et malentendantes ____ 32

II. L'apprentissage et le développement cognitif des personnes sourdes et malentendantes ____ **35**

A. Apprentissage et Théories de l'apprentissage ____ 35

B. Le développement cognitif ____ 39

C. Les habilités cognitives non-verbales ____ 46

III. Les nouvelles technologies ____ **52**

A. La révolution technologique et l'adaptation numérique ____ 52

B. L'enfant-élève sourd et les nouvelles technologies ____ 55

C. Personnalisation de l'apprentissage : une adaptation pour individualiser le processus d'apprentissage ____ 71

D. Traces d'activités ____ 73

E. TERENCE, une méthode au-delà d'un jeu ____ 75

Chapitre 2. Problématique et hypothèses 85

I. Objectifs et problématique 87

II. Hypothèses 88

A. Hypothèse générale : les nouvelles technologies informatiques influenceraient positivement le processus d'apprentissage des élèves. 88

B. Le logiciel *Digisthésia* aurait une influence positive sur l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution des problèmes de l'élève. 88

C. La médiation des nouvelles technologies renforce plus les potentialités cognitives des élèves sourds et malentendants 89

D. Corrélation entre les subtests de l'Echelle non-verbale d'intelligence de Wechsler (WNV) et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* 90

E. Corrélation entre le temps de réaction et le niveau de difficulté du tour. 90

Chapitre 3. Méthodologie 93

I. Introduction 95

II. Participants 95

III. Outils 98

A. Introduction 98

B. Acteurs 98

C. Création 99

IV. Exploitation des jeux 113

A. Le jeu ludo-éducatif « La Chasse au trésor » 113

B. Le jeu ludo-éducatif « Débarquement » 118

C. Le jeu ludo-éducatif « Piège de la cascade » 122

D. Le jeu ludo-éducatif « Puzzle » 127

V. Procédure 132

A. L'évaluation initiale : le WISC Non-Verbal 132

B. Les subtests 133

C. Pré-test 137

D. Test 138

E. Post-test 139

Chapitre 4. Présentation des résultats 141

I. Comparabilité des groupes 143

A. Le test de Mann-Whitney U 143

II. Périmètre de l'analyse 145

III. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves? 147

A. Données descriptives 148

B. Le test de Mann-Whitney U 148

C. Sous-hypothèses 149

III. Etude 2 : Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ? 151

IV. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ? 153

A. « Matrices » versus « La chasse au trésor » 153

B. « Code » versus « Débarquement » 154

C. « Mémoire spatiale » versus « Piège de la cascade » 156

V. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ? 157

A. Données descriptives 157

B. Analyses corrélationnelles 158

C. Corrélation entre le score final d'une partie et le niveau final atteint 159

VI. Etude de cas 163

A. Etude de cas 1 : Y. 163

B. Etude de cas 2 : K. 165

C. Etude de cas 3 : N. 167

D. Etude de cas 4 : No. 169

E. Comparaisons entre les 4 élèves 171

Chapitre 5. Discussion des résultats 177

I. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves? 179

II. Etude 2. Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté plus aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ? 181

III. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ? 186

IV. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ? 190

Conclusions 193

Difficultés rencontrées 195

Limites de la recherche 196

Perspectives du projet 196

Références bibliographiques 199

Table des matières 237

ANNEXES 253

Introduction générale

La présente recherche est une étude à caractère exploratoire, une étude interdisciplinaire qui prend en compte le champ de la psychologie de la santé, du handicap, du développement cognitif et physiologique. En même temps, il s'agit d'une recherche pluridisciplinaire qui inclut des éléments de la psychologie et de l'informatique.

Beaucoup de recherches ont contribué à l'amélioration de la pédagogie auprès des enfants sourds (Bailleul et *al*., 2009 ; le SCEREN, 2010 ; Louis et *al*., 2006). Considérant le nombre important aujourd'hui de tels élèves scolarisés en éducation ordinaire, une question se pose quant à l'adaptation de la pédagogie à leurs besoins spécifiques.

Un des objectifs de cette recherche est de mieux comprendre les processus d'apprentissage des élèves déficients auditifs et de donner des pistes pour une amélioration de leur intégration et de leur qualité de vie. Plus précisément, l'objectif de cette recherche est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles.

La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, déjà largement utilisés par les enfants entendants, ne pourrait pas permettre d'introduire des didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des enfants sourds.

Notre but dans cette étude était de créer de la valeur ajoutée dans le cadre d'apprentissages actuels, à travers de techniques innovantes. Il s'agirait aussi, dans le cadre d'une pédagogique inclusive, de mieux sédimenter les notions apprises en classe. Comme nous le savons déjà, l'éducation inclusive est fondée sur le droit de tous à une éducation de qualité qui réponde aux besoins d'apprentissage essentiels et enrichisse l'existence des apprenants.

Les tablettes tactiles ont fait leur apparition récemment dans l'éducation. L'utilisation des technologies innovantes est intéressante en pédagogie car il s'agit d'instruments de travail à forte intuitivité et dont l'utilisation est ludique. Il existe plusieurs recherches récentes (Fernandez et collab., 2013 ; Hahn et Bussell, 2012 ; Huber, 2012 ; Kinash et

collab., 2013 ; McClanahan et collab., 2012 ; Murray, 2011; Wainwright, 2012) qui ont montré les avantages concernant l'usage des tablettes tactiles. Par exemple, plusieurs travaux (Bétrancourt et Bozelle, 2012 ; Houdé, Dehaene, 2013; Lachapelle-Bégin, 2012) ont pointé que l'ergonomie simplifiée de la tablette et aussi la possibilité de manipuler directement avec le doigt ont une influence positive sur le développement émotionnel et cognitif des élèves.

Cependant, il existe peu de travaux qui concernent les élèves « à besoins spécifiques » qui sont disponibles dans la littérature.

La littérature de spécialité sur la surdité a relevé beaucoup de difficultés des personnes sourdes, dues à la privation auditive. Plus précisément, la plupart des études ont indiqué que cette population rencontre des difficultés importantes à accéder aux études universitaires (moins de 2%). Par ailleurs, ces personnes peuvent poursuivre sans problèmes des études primaires et secondaires. Cependant, pendant leurs études, les déficients auditifs se heurtent à plusieurs obstacles. Par exemple, ils ont des difficultés dans le domaine de la lecture et de l'écriture. Plusieurs études montrent que le niveau en lecture et en écriture des étudiants sourds âgés de 17 à 18 ans est en moyenne celui d'enfants bien-entendants âgés de 8 à 9 ans.

Sur l'ensemble de cette population, le pourcentage de sourds illettrés est de 80 % (Gillot, 1998). Les statistiques montrent aussi que l'échec scolaire des sourds est massif, affectant plus de 95% des élèves (Gillot, 1998).

Actuellement l'usage pédagogique des écrans et des outils numérique est un progrès important. Dans ce contexte du numérique, nous avons tenté de trouver une solution pour faire progresser les personnes déficientes auditives par rapport à leurs performances à l'école, mais aussi dans leur vie quotidienne.

Notre solution a été la conception et la validation d'une interface numérique de perception dédiée aux personnes sourdes et malentendantes. Plus précisément, nous sommes partis de l'idée que via le canal digital et avec des interactions tactiles, on pourrait palier à une manque sensorielle ou améliorer les capacités cognitives déjà existantes d'un utilisateur.

Dans la littérature de spécialité, un système déficitaire développe des processus adaptatifs et originels comme expliqué par le modèle théorique de l'Analyse des Systèmes développé par Von Bertalanffy (1973). Selon Portalier (1996)[1], le système sensoriel est formé de plusieurs sous-systèmes qui interagissent entre eux. Dans ce cas,

1 Portalier, S. (1996). Recherches en Défectologie, approche épistémologique. *Actes du colloque Perception Cognition Handicap, Recherches en Défectologie* (p. 157-

il s'agit d'interactions intrasystémiques qui ont le but de faciliter à l'individu l'interaction avec l'environnement. Par exemple, dans le cas d'une personne sourde, cette personne va développer des procédures adaptatives originales, qui vont lui permettre de compenser l'absence de l'audition.

Ensuite nous avons créé avec nos partenaires de recherche un logiciel adapté pour les élèves sourds : *Digisthésia*. L'origine de ce nom dérive de deux termes clés pour notre recherche : la synesthésie et le digital.

Comme nous le savons déjà, la synesthésie est « un phénomène neurologique par lequel deux ou plusieurs sens sont associés »[2] ou une expérience sensorielle stimulant un sens mais suscitée par un stimulus spécifique de tout un autre sens. Dans l'Encyclopédie Universalis[3] (2009), la synesthésie est définie comme un « trouble de la perception sensorielle caractérisé par la perception d'une sensation supplémentaire à celle perçue normalement, dans une autre région du corps ou concernant un autre domaine sensoriel ». Par exemple, dans le cas de la synesthésie « graphèmes-couleurs » qui est la plus répandue, les lettres de l'alphabet peuvent être perçus colorées. Dans le cas de la « synesthésie numérique », les nombres sont associés avec des positions dans l'espace. Finalement il y a des cas où certaines notes musicales peuvent être perçues comme chaudes, moelleuses ou coloriées.

Quant au deuxième mot-clé, le terme "digital" est un anglicisme auquel le terme « numérique » doit être substitué. « Le passage d'une information analogique à une information numérique est appelé numérisation, alors que le passage d'une technologie matérielle à une technologie numérique est généralement appelé virtualisation ou dématérialisation »[4]. Dans le jargon informatique, toutes ces nuances de transformation sont vulgairement illustrées par un seul terme : « la digitalisation » (ex. digitalisation de services, de processus métier ou de supports commerciaux).

Le logiciel *Digisthésia* est un outil adapté aux besoins spécifiques des élèves sourds et malentendants. Il a le but de tester et d'améliorer 4 des principales potentialités cognitives : l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement de l'information et la résolution des problèmes. Nous allons détailler plus tard les propriétés et les fonctionnalités de ce logiciel éducatif.

En effet, ce document s'articule selon 5 grands chapitres.

2 https://fr.wikipedia.org/wiki/Synesth%C3%A9sie

3 http://www.universalis-edu.com/

4 https://fr.wikipedia.org/wiki/Digital

D’abord, dans la première partie, nous ferons un survol de la littérature récente sur les nouvelles technologies, sur la surdité et les caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes. Nous nous concentrerons surtout sur le processus d’apprentissage chez les personnes déficientes auditives ainsi que sur leur développement cognitif.

Dans une seconde partie, nous présenterons la problématique et les hypothèses de la recherche. Ensuite, dans le troisième chapitre, nous présenterons la méthodologie employée pour tester nos hypothèses, avec le protocole de recherche qui s’est déroulé dans les établissements scolaires de Lyon et de la périphérie lyonnaise.

Après la présentation des résultats, le chapitre suivant sera consacré à la discussion des résultats et des données obtenues et de les mettre en perspective avec les notions de revue de la littérature.

Enfin, nous terminerons ce travail en exposant au cours du dernier chapitre les limites et les ouvertures de notre recherche qui nous paraissent tout à fait pertinentes pour les futurs travaux dans le domaine.

Chapitre 1. Approche théorique

I. La surdité et les principales caractéristiques des personnes sourdes et malentendants

A. La surdité en France : définition et statistiques

1. Prévalence de la surdité

En France, la surdité touche chaque année près d'un millier de nouveau-nés (0,25 %) dont 40 % de surdités sévères et profondes avec de lourdes conséquences sur l'acquisition du langage oral et sur le développement socio-affectif de l'enfant.

Trois quarts d'entre elles sont d'origine génétique (anomalies de l'oreille) et les autres sont acquises au cours de la grossesse ou pendant la période périnatale.

Ensuite, le nombre de cas ne cesse de progresser, 6 % entre 15 et 24 ans, 9 % entre 25 et 34 ans, 18 % entre 35 et 44 ans et plus de 65 % après 65 ans. Cependant, le recours à des aides auditives permet de compenser dans une certaine mesure les difficultés d'audition et de permettre ainsi une réhabilitation de l'individu.

Le rapport final de Kervasdoué et Hartmann de 2016 montre que le déficit auditif concerne en France plus de six millions de personnes qui en subissent un impact dans la vie quotidienne. On estime aujourd'hui que la prévalence du déficit auditif se situe entre 8,6% et 11,2% de la population totale française.[5]

Le même rapport montre qu'en 2015, plus de trois millions de Français étaient éligibles aux aides auditives : deux millions d'entre eux sont appareillés, tandis qu'un million de personnes n'accèdent pas à l'appareillage. C'est-à-dire que 30% à 35% de l'ensemble des personnes malentendantes seraient équipées, soit deux millions sur six millions.

2. Les déficiences auditives : tentatives de définitions

La surdité est un état pathologique caractérisé par une perte partielle ou totale du sens de l'ouïe. Dans son acception générale, ce terme renvoie le plus souvent à une abolition complète de l'audition.

L'O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé) définit la déficience auditive comme l'incapacité à entendre aussi bien que quelqu'un dont l'audition est normale. Les personnes atteintes de déficience auditive peuvent avoir perdu une partie de leur capacité auditive ou être sourdes. On parle de surdité lorsque la personne n'entend pas du tout.

5 http://www.unsaf.org/doc/Impact_Economique_Deficit_Auditif_en_France.pdf

L'hypoacousie est définie comme l'insuffisance de l'acuité auditive correspondant à la surdité légère et moyenne et la surdité sont des déficiences sensorielles « qui altèrent la qualité et l'intensité de la perception sonore et gênent par conséquent l'individu dans tous les domaines où l'audition joue un rôle et en particulier dans la vie relationnelle ». (Deschamps et *al.*, 1981, p. 128 cité par Guidetti et Tourette, 2014, p. 75), dans son aspect le plus important, la communication verbale, ou l'acquisition du langage va être impossible ou difficile.

Le déficit auditif se manifeste par des limitations fonctionnelles directes (difficulté de compréhension et de communication), il est également associé à une plus grande fréquence des troubles mentaux, du déclin cognitif, des chutes et même de la mortalité, indépendamment des effets de l'âge ou du genre (Kervasdoué et Hartmann, 2016).

La prévalence et les conséquences du déficit auditif et des limitations fonctionnelles auditives (LFA) en France concerne 16% de la population au sens large et de 8,6% à 11,2% de la population au sens strict (EHIMA[6], 2015 ; Haeusler et *al.*, 2014) .

Les LFA sont classées selon quatre niveaux de gravité, qui en permettent le repérage (Tableau 1).

Niveau des LFA	Règle de repérage
Très graves ou totales	N'entend pas du tout une conversation à plusieurs et se déclare sourd (d'une oreille ou des deux) ou malentendant
Graves	A beaucoup de difficultés à entendre une conversation à plusieurs ou n'entend pas du tout une conversation à plusieurs et déclare une déficience auditive autre que sourd (d'une ou des deux oreilles) ou malentendant
Moyennes	A quelques difficultés à entendre une conversation à plusieurs ou personnes équipées d'un appareil et suivant une conversation sans difficulté ou malentendants ou sourds d'une oreille ayant déclaré un besoin en appareil auditif et suivant une conversation sans difficulté
Légères	A quelques difficultés à entendre une conversation, mais n'a pas de déficience auditive déclarée ou n'a pas de difficultés à entendre une conversation et déclare une déficience auditive comme des acouphènes ou des sifflements et n'a pas d'appareil auditif

Tableau 1. Repérage des Limitations fonctionnelles auditives (LFA)

Source : Drees, 2014

B. Classification

Par la suite, nous allons présenter les différentes classifications de la déficience auditive.

6 EHIMA : European hearing instrument manufacturers association (l'association européenne des fabricants d'appareils auditifs)

1. En fonction de la localisation de l'altération à l'origine de la surdité.

La première classification est en fonction de la localisation de l'altération à l'origine de la surdité. Plus précisément, il existe une surdité de transmission, de perception, mixte ou nerveuse.

1.1. La surdité de transmission

Dans le cas de la surdité de transmission, l'oreille externe est atteinte et l'onde sonore ne parvient plus normalement à la cochlée. Ce type de surdité concerne 3% de la population soit 300 000 enfants de 3 ans à la fin de la scolarité.

En général, les surdités de transmission sont beaucoup plus souvent acquises et la perte moyenne est rarement supérieure à 40 dB (elle est toujours légère ou moyenne) et elle est souvent opérable et facilement appareillable. Il est important de préciser qu'elle retentit peu sur le langage et que ces types de surdités sont les plus fréquents chez l'enfant, représentant 90% des surdités (Andrieu-Guitrancourt, 1991).

La surdité de transmission est une conséquence d'infections de l'oreille comme les obstructions tubaires (45%) et les séquences d'otites chroniques ou mal soignées (40% ; Lafon, 1990).

1.2. La surdité de perception

Dans le cas de la surdité de perception, l'oreille interne est atteinte (plus rarement, le nerf auditif). Beaucoup sont d'ordre génétique et sont les plus difficiles à traiter. Les statistiques montrent que ces déficiences concernent 0,5 de la population infantile.

Il nous semble important de préciser que l'audition normale ne peut pas être restituée intégralement par traitement médical, chirurgical ou appareillage. Par conséquent, les personnes atteintes par les surdités de perception ont des retards importants sur le langage et sur la parole.

1.3. Des surdités mixtes (perception et transmission)

Les surdités mixtes sont une combinaison des deux surdités précédentes. Elles associent ainsi un obstacle de transmission du son à une atteinte de l'oreille interne. La prévalence de la surdité profonde en France représente 0,5 à 0,8 enfant pour 1000.

1.4. Les surdités nerveuses

Dans le cas des surdités nerveuses, le nerf auditif ou des centres cérébraux sont atteintes. Il est important de préciser que certaines classifications les associent aux

surdités de perception et aussi que ces types de surdités sont très rares, et sont parfois appareillables ou opérables.

Les surdités profondes et totales représentent un dernier groupe.

2. Les niveaux de déficiences auditives

Par la suite, nous allons présenter la classification audiométrique élaborée par le BIAP[7]. Cette classification est la plus connue dans le domaine :

- *l'audition normale* : la perte auditive moyenne est inferieure à 20 dB;
- *légère* : la perte auditive moyenne est de 20 dB à 40 dB (les éléments de la parole courante ne sont pas tous identifiés; au-dessus de 30 dB de perte, si la personne est gênée, l'appareillage est possible);
- *moyenne* : la perte auditive est comprise entre 40 et 70 dB (cette perte entrave la perception de la parole d'intensité normale et la parole n'est perçue que si elle est forte; l'appareillage et la rééducation sont nécessaires);
- *sévère* : la perte auditive moyenne est de 70 dB à 90 dB (la parole n'est pas perçue qu'à très forte intensité et de nombreux éléments acoustiques ne sont pas perceptibles; par exemple, 80 dB représente le volume sonore d'une rue bruyante; un appareillage, une rééducation et l'utilisation de la lecture labiale sont nécessaires) ;
- *profonde* : la personne n'a aucune perception de la voix et aucune idée de la parole; par exemple, 100 dB représente le bruit d'un marteau-piqueur; 120 dB celui d'un réacteur d'avion à 10 mètres; un appareillage, une rééducation et l'utilisation de la lecture labiale sont nécessaires, ainsi qu'un suivi orthophonique plus rigoureux, à ce stade il est souvent conseillé l'implant cochléaire. 3 groupes :
  - *groupe 1* : la perte moyenne est légèrement inferieure ou égale à 90dB;
  - *groupe 2* : est comprise entre 90 dB et 100 dB;
  - *groupe 3* : est supérieure à 100 dB.
- *surdités dites totales* (ou *cophoses* - très rares): l'absence de restes auditifs au delà de 500 Hz et pour une intensité de 120 dB.[8] Il s'agit généralement d'une surdité de perception due à un dysfonctionnement de la cochlée, aucun son ne peut être perçu. Dans ce cas, seulement l'implant cochléaire est efficace pour récupérer le maximum d'informations auditives.

7 Bureau International de d'Audio-Phonologie

8 Lepot-Froment, C. et Clerebaut, N. (1996). *L'enfant sourd: communication et langage.* Paris :De Boeck Supérieur.

3. Classification selon la date d'acquisition

Par la suite, nous allons présenter une classification selon la date d'acquisition[9] :

3.1. Déficiences auditives pré-linguales (congénitales et très précocement acquises)

Nous délimitons les déficiences auditives pré-linguales et aussi celles post-linguales.

La première catégorie, les déficiences auditives pré-linguales sont, dans la plupart de cas d'origine génétique. Ces déficiences concernent 7% des cas et des fois, il y a des troubles organiques qui peuvent être associés aux syndromes génétiques.

Elles sont les conséquences des médicaments ototoxiques ou aux infections congénitales ou de pathologies embryonnaires ou fœtales, périnatales et postnatales qui peuvent s'associer à d'autres séquelles neurologiques ou sensorielles.

3.2. Déficiences auditives post-linguales

Dans la classification, nous retrouvons aussi les déficiences post-linguistiques ou, autrement dites, des déficiences acquises après la structuration du langage. Nous pouvons donner l'exemple des presbyacousies qui sont les conséquences du processus naturel de vieillissement.

Nous pouvons aussi citer une autre classification des déficiences auditives : la surdité bilatérale (les deux oreilles peuvent être touchées) ou la surdité unilatérale (l'atteinte peut se limiter à une oreille).

Pour conclure, il faut noter que les enfants sourds naissent et sont élevés très majoritairement au sein des familles entendantes. Dans une enquête auprès de 30 000 enfants sourds menée par l'Institut Gallaudet, a été pointé que 91,7% des enfants sourds sont nés de parents entendants (Mitchell et Karchmer, 2004).

C. Etiologie

Conformément à l'OMS il existe 2 types des causes qui provoquent la surdité : les causes congénitales et les causes acquises.

9 http://afda.fr/la-deficience-auditive/

Les statistiques montrent que 32,4% des surdités bilatérales de perception sont d'origine génétique, 37,7% d'origine inconnue et 29,8% ont une cause prénatale, périnatale et postnatale (Guidetti et Tourette, 2014).

1. Etiologie génétique

Les recherches ont montré que la surdité peut être héréditaire. Par exemple, la probabilité d'avoir un enfant sourd augmente si dans la famille il y a une ou plusieurs personnes sourdes. Plus concrètement, il existe des formes dominantes (la gêne est transmise par un seul des parents) ou récessives (le caractère n'apparaît chez l'enfant que s'il a été transmis par les deux parents). Il nous semble important de préciser qu'en général, les causes congénitales sont présentes à la naissance ou sont acquises peu de temps après la naissance. Mais il faut aussi préciser qu'il existe des variétés tardives de surdité héréditaire (par exemple : la surdité de transmission qui apparaît à l'adolescence).

2. Etiologie prénatale

Dans le cas d'une étiologie prénatale, nous pouvons citer les embryofoetopathies et la rubéole chez la mère au cours de la grossesse, l'utilisation de médicaments ototoxiques pendant la grossesse, etc.

3. Etiologie néonatale

La déficience auditive peut être due à des complications à la naissance comme : la prématurité et le faible poids à la naissance, l'asphyxie à la naissance ou situations privant le nouveau-né d'oxygène à la naissance, l'ictère néonatal ou le jaunisse grave, (peut léser le nerf auditif chez un nouveau-né), l'anorexie néonatale, etc.

4. Etiologie postnatale

Les surdités acquises peuvent entraîner une perte auditive à tout âge. Parmi les causes des surdités acquises nous pouvons citer : les maladies infectieuses telles que méningite, rougeole, oreillons, un niveau sonore excessif, lié par exemple à l'utilisation professionnelle d'appareils bruyants, une perte auditive liée à l'âge (presbyacousie), etc.

Les statistiques indiquent que les surdités acquises sont dues à des séquelles de méningites (7%), d'oreillons (4,5%), qui peuvent résulter des antibiotiques néfastes pour l'oreille interne (Guidetti et Tourette, 2014).

Nous pouvons conclure que l'étiologie de la surdité n'est pas élucidée que dans 1/3 des cas environ.

D. Surdité, privation et compensation sensorielle

Les personnes déficientes auditives rencontrent beaucoup de difficultés dues à leurs acquisitions perceptives. Par exemple, dans le cas de l'enfant sourd, le lien parental est déficitaire. Plus précisément, le fait que l'enfant ne perçoit pas les voix des parents a des répercussions importantes sur le lien entre l'enfant et ses parents. Ainsi la non perception de leurs voix les isole et les sépare de leur enfant. D'ailleurs, « la surdité est vécue comme un manque qui prive l'enfant de l'humanité et de l'esprit de ses parents » (Alix, 2007, p. 164).

Dans les cas des personnes déficientes sensorielles il existe une croyance commune qui porte sur la compensation sensorielle. Plus précisément, la compensation sensorielle postule que ces personnes développent les autres compétences perceptives dans le but de compenser leurs sens affaiblis (Niemeyer et Starlinger, 1981). Par exemple, les sourds qui perçoivent la parole par les yeux, sont considérés comme « voir » mieux que d'entendre les autres personnes.

Plusieurs recherches ont convenu/convergé sur ce point de vue de la surdité chez les sujets déficients auditifs. Par exemple, les recherches de Neville (1987) ont essayé justement de montrer ce point de vue. Plus précisément, ils ont testé les adultes sourds et entendants en leurs donnant une tâche de détection de mouvement présenté à la vision périphérique. Ensuite, ils ont fait des comparaisons entre les personnes sourdes/malentendantes et celles entendantes. Les résultats ont montré que les sujets « sourds signeurs réagissent plus vite aux stimuli visuels apparaissant dans le champs visuel périphérique » (Virole, 2000, p. 206)[10].

E. Relations systémiques et la Théorie de la Vicariance sensorielle

1. L'Analyse des Systèmes

Par la suite, nous allons faire référence au modèle théorique de l'Analyse des Systèmes développé par Von Bertalanffy (1973). Ce modèle a le but de souligner la spécificité et l'originalité des processus adaptatifs développés par un système déficitaire. Plus précisément, ce système sensoriel est composé de plusieurs sous-systèmes en interaction. Il s'agit d'une interaction dynamique entre le système sensoriel et l'environnement. D'ailleurs, le système sensoriel peut être modélisé sous la forme d'un ensemble d'éléments en interaction.

Portalier (1996) a présenté une conception originale des situations de handicap sensoriel, conception inspirée ou en liaison avec le modèle théorique de l'Analyse des

10 Virole, B. (2000). *Psychologie de la surdité*. Paris : De Boeck Supérieur.

Systèmes de Von Bertalanffy (1973).

Selon Portalier (1996), le système sensoriel est formé de plusieurs sous-systèmes qui interagissent entre eux. Dans ce cas, il s'agit d'interactions intrasystémiques qui ont le but d'autoriser l'individu d'interagir avec l'environnement. Comme nous avons vu, le système sensoriel entretient une interaction avec l'environnement mais aussi avec d'autres systèmes. Dans ce cas, il s'agit d'interactions inter-systémiques. Par exemple, dans le cas de la personne déficiente auditive, nous avons deux types différents de systèmes.

Plus précisément, le premier type concerne la situation où le sujet sourd a déjà utilisé l'activité sensorielle déficitaire. Dans ce cas, nous parlons, par exemple, de la surdité tardive. Les interactions intrasystémiques ne seront pas immédiatement supprimées, mais elles seront modifiées. Par ailleurs, certaines interactions intrasystémiques seront maintenues, d'autres éliminées avec le temps. Le système sensoriel cherche de s'adapter aux nouvelles situations et en même temps, de trouver des nouvelles procédures de traitement de l'information.

Le deuxième type de système concerne la situation où le sujet sourd n'a jamais utilisé la modalité défective (chez le sujet sourd de naissance, par exemple). Ce mode de traitement de l'information est différent du premier modèle. D'ailleurs, dans ce cas, l'équilibre du système est assuré par l'interaction dynamique des autres sens.

2. La Théorie de la Vicariance sensorielle et le déficit auditif

Les recherches de Reuchlin (1978, 1990) et d'Ohlman (1990) portent notamment sur la théorie de la vicariance sensorielle. D'ailleurs, cette théorie prouve qu'un individu, placé dans une situation donnée, aurait à sa disposition un nombre important de possibilités pour s'adapter à la situation dans laquelle il se trouve, lui permettant d'arriver au but qu'il s'était fixé.

Plus précisément, l'individu disposerait de plusieurs processus vicariants pour s'adapter à la situation dans laquelle il se trouve. Il nous semble important de préciser que certains de ces processus seraient chez un sujet donné, plus facilement évocable. Par ailleurs, la hiérarchie de cette évocabilité serait différente d'une personne à une autre pour des raisons pouvant tenir, par exemple, à la présence d'un déficit.

Par exemple, dans le cas d'une personne sourde, cette personne va développer des procédures adaptatives originales, qui vont lui permettre de compenser l'absence de l'audition.

Dans la littérature de spécialité, nous retrouvons plusieurs types de vicariance. Nous pouvons parler d'une vicariance organique ou perceptive. Dans ce cas, l'organisme est

influencé par la privation d'un processus par l'augmentation des compétences d'un autre.

Ensuite, il s'agit d'une vicariance hiérarchisée. Dans le cas d'une perte d'une activité, celle-ci serait compensée par une suractivité d'autres processus. Plus précisément, certains processus seront privilégiés et interviendront pour assurer l'équilibre du système (Myklebust, 1976).

Dans le cas de la vicariance cognitive, les individus auraient les mêmes capacités mais ils ne disposeraient pas tous de la même quantité d'énergie pour les faire fonctionner (Spearman, 1965).

2.1. Le transfert intermodal

Dans le cas des systèmes déficitaires, il y a plusieurs modalités concernant le traitement de l'information sensorielle. Par exemple, dans la littérature de spécialité, nous avons retrouvé 2 situations importantes concernant l'interaction entre les différentes modalités sensorielles. Dans une première situation, si l'un des sous-systèmes est requis, les autres systèmes vont réagir. La deuxième situation concerne le cas ou si l'un des sous-systèmes est blessé, alors les autres sous-systèmes peuvent suppléer/remplacer le sous-système endommagé. Dans ce cas nous pouvons parler de la plasticité neuronale et l'utilisation du transfert intermodal est conseillée.

Le transfert intermodal est défini comme une capacité de transférer des informations entre différentes modalités sensorielles. En même temps, il porte sur plusieurs processus cognitifs complexes comme, par exemple, le traitement de l'information par une modalité, la mémorisation et la reconnaissance dans une autre modalité.

Par exemple, d'après Hatwell (1986), il existe 4 étapes importantes:

1) la prise d'information par les organes sensoriels;
2) la mémorisation de l'information;
3) la prise d'information des objets offerts au choix ;
4) la comparaison entre l'étape 2 et 3 et à la fin, il faut prendre une décision perceptive finale.

En conclusion, son idée est qu'il existe une « traduction » des données d'une modalité sensorielle à une autre.

Plus précisément, des auteurs comme Connolly et Jones (1970) et Hatwell (1994) ont postulé que, pour faire circuler l'information entre les plusieurs modalités, il est essentiel de faire appel à un « recodage ». Par exemple, l'information de la modalité dominante à une modalité mineure nécessite un traitement particulier pour pouvoir

passer à la modalité mineure. Par conséquent, nous pouvons affirmer que les différents types d'informations produites par les différents canaux sensoriels peuvent être transportés vers un autre canal sensoriel.

Piaget (1936/1997) a eu aussi une vision sur le transfert intermodal. Selon lui, le transfert intermodal s'acquiert graduellement, petit à petit et il n'existe pas encore à la naissance de la personne. A la naissance, tous les systèmes sensoriels sont indépendants les uns des autres. Par exemple, le bébé considère que toucher et voir un objet sont deux épisodes différents. L'opinion de Piaget est qu'avant l'âge de 5 mois il n'existe pas de transfert intermodal et que la coordination vision-préhension apparaît vers 5 mois.

Les travaux de Stréri (1991) portent aussi sur le transfert intermodal de la vision au toucher et du toucher à la vision. Stréri est allée plus loin et a introduit/lancé la notion d' « espace multimodal intégré ». Son but était justement de montrer l'harmonisation entre plusieurs types des perceptions: celles visuelles avec celles tactiles et auditives à partir des premières mois de vie de l'enfant. D'ailleurs, ses recherches portent sur la perception des formes avec des bébés âgées de 5 mois. La procédure utilisée était l'habituation à la réaction de nouveauté. Les résultats ont montré que le bébé est capable de faire un transfert de perception entre visuel et tactile et que cette coordination vision-préhension apparaît avant l'âge de 4 mois.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que le transfert intermodal contribue à la perception globale de l'environnement et que tous les types d'informations (auditives, haptiques, proprioceptives, etc.) ont le but d'enrichir l'information et de mettre à disposition une palette variée de modalités sensorielles pour percevoir l'environnement.

F. La prise en charge des enfants déficients auditifs

La prise en charge des enfants déficients auditifs prend en considération 2 situations importantes:

- l'enfant né dans une famille sourde;
- ou l'enfant né dans une famille d'entendants.

Les statistiques montrent qu'environ 10% des enfants sourds ont un ou deux parents sourds (Guidetti et Tourette, 2014, p. 75).[11] De l'autre coté, elles indiquent aussi que 95% des enfants sourds naissent dans une famille entendante (Delaporte, 2000). Par conséquent, il est important de préciser que les pratiques éducatives des enfants sourds seront marquées par ces 2 situations.

11 Guidetti, M. et Tourrette, C. (2014). *Handicaps et développement psychologique de l'enfant*. Paris : Armand Colin.

Dans le premier cas, le cas de l'enfant né dans une famille sourde, la langue des signes deviendra la langue maternelle du petit enfant.

Dans le deuxième cas, où l'enfant est né dans une famille entendante, il est vraiment important que la famille soit sensibilisée à la surdité. Plusieurs recherches ont indiqué que l'enfant sourd est plus anxieux avec les parents entendants parce que la communication ne s'établit pas très vite. En général, les parents entendants se penchent plutôt vers le courant oraliste et l'appareillage pour les enfants.

Dans ce contexte, il nous semble important de faire référence aussi à la loi du 11 février 2005. Cette loi milite pour l'égalité des droits et des chances pour la citoyenneté des personnes handicapées, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées. Par conséquent, nous avons remarqué que, depuis 2006, le nombre d'élèves handicapés scolarisés en milieu scolaire a doublé. Par exemple, à la rentrée 2014, il y avait environ 260 000 d'élèves handicapés scolarisés.

Selon la loi du 11 février 2005, les élèves sourds qui sont scolarisés en milieu ordinaire, peuvent bénéficier de la LSF à l'école et ont le droit de choisir le type d'éducation préférée. En général, les parents sont ceux qui choisissent le type d'éducation pour leurs enfants. Plus précisément, actuellement, il existe deux courants éducatifs : le bilinguisme et l'oralisme. Le bilinguisme est associé avec la pratique de la LSF[12] (entre 50 et 80 000) et l'apprentissage du français écrit. Dans le cas de l'oralisme, l'apprentissage du français (écrit et parlé) se fait grâce à la lecture labiale et la Langue Française Parlée Complétée (LFPC).

Il nous semble important d'ajouter que les problèmes éducatifs sont influencés par le type et surtout par le degré de la déficience auditive. Plus précisément, certaines surdités de transmission peuvent ne poser que des problèmes d'appareillage et certains déficients auditifs légers appareillés peuvent être scolarisés sans problèmes en classe ordinaire.

Il existe une commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées qui enregistre le choix de la famille et qui propose une orientation adaptée aux particularités de l'élève. Le dossier sera déposé dans le cadre d'un projet de vie de l'enfant à la Maison Départementale des Personnes Handicapées (MDPH). L'enfant a le droit de s'inscrire dans l'établissement d'enseignement le plus proche de son domicile.

Plus concrètement, dans le département Rhône-Alpes, il existe 2 possibilités d'éducation. Un premier choix serait la méthode oralisée et la deuxième serait la langue de signes. En général, les parents choisissent pour leurs enfants la méthode oralisée. Les

12 LSF : Langue de Signes Française

enfants sourds qui sont intégrés dans le milieu ordinaire, bénéficient de l'accompagnement des SSEFIS (Services de Soutien à l'Education Familiale et à la Scolarisation).

En conclusion, pour une meilleure prise en charge, il est essentiel que la surdité soit dépistée précocement. Nous pouvons ajouter le fait qu'en France, l'âge moyen de diagnostique est de 16 mois. Il nous semble aussi important de préciser qu'une éducation bilingue (en particulier avant 3 ans) est conseillable.

1. Les techniques d'appareillages

La dernière décennie a connu des avancées technologiques qui devraient permettre d'améliorer les performances des aides auditives et des implants existants. Le but de ces aides technologiques serait de compenser les pertes auditives. De nos jours, il existe des traitements de plus en plus sophistiqués qui ont le but de corriger l'anomalie à l'origine de la surdité.

1.1. Les aides auditives

Il existe plusieurs catégories d'aides auditives comme, par exemple, les aides auditives conventionnelles (en conduction aérienne) et les aides en conduction osseuse. Dans le cas des aides auditives conventionnelles, la captation du son se fait par un ou plusieurs microphones. Plus précisément, le signal est traité par un microprocesseur qui est placé dans le conduit auditif externe.

Dans les cas des aides en conduction osseuse, les vibrations sonores sont captées par un microphone et sont transmises à l'os temporal par un vibrateur qui est placé derrière l'oreille.

Beaucoup de recherches ont montré que plus l'enfant est appareillé précocement, plus l'acquisition de langage se fera plus facilement. Il est important de préciser que l'appareillage devient possible si la perte auditive atteint ou dépasse 30 décibels. Par conséquent, les surdités de perception sont très faciles à être appareillées. Parfois, les surdités de transmission peuvent être aussi appareillées. Dans le cas des appareillages, il est recommandable de faire des séances d'orthophonie.

1.2. Les prothèses auditives

La prothèse auditive est un « ensemble électronique, électro-acoustique et mécanique miniaturisé qui capte, adapte et amplifie les signaux acoustiques » (Veit et Bizaguet,

1988 cité par Lepot-Froment et Clerebaut, 1996, p. 29)[13]. Il nous semble important de préciser que les prothèses ne restituent jamais une « audition normale ». Il existe aussi des prothèses acoustiques vibro-tactiles qui ont été créées pour ceux avec une déficience auditive profonde.

1.3. Les implants cochléaires

Un autre type d'aide technologique est l'implant cochléaire. Il concerne les personnes atteintes d'une surdité profonde ou totale, bilatérale et d'origine cochléaire. Il agit directement au niveau de la cochlée pour suppléer sa défaillance.

Plus précisément, « l'implant cochléaire est un dispositif électro-acoustique ayant pour but de restituer une fonction auditive à ceux qui en sont privés suite à une lésion congénitale ou acquises des oreilles internes ». (Krahe, 2007, p. 13).

Cette technique est apparue en France en 1976 et a suscité, au début, une vive résistance de la communauté des sourds et beaucoup de débats.

Il nous semble important de préciser que, même avec cette technique, la compréhension requiert du temps et un apprentissage pour intégrer les informations reçues. Aussi, il est recommandé de faire une implantation à un âge précoce, surtout entre deux et quatre ans.[14]

Par ailleurs, l'implant est formé de deux parties : une interne et une externe.

La partie externe est constituée « d'un boîtier contenant un processeur vocal, d'un contour d'oreille muni d'un microphone et d'une antenne émettrice ». Et la partie interne est constituée « d'une antenne réceptrice interne, placée sur la peau, en arrière du pavillon de l'oreille, et d'un porte-électrodes qui est constitué comportant de 16 à 24 en fonction du modèle d'implant cochléaire » (Krahe, op. cit., p. 15).

Plus précisément, le message sonore est capté par un microphone qui transmet les informations sonores au boîtier contenant le processeur vocal. Ce micro processeur transforme les vibrations acoustiques en message électrique remplaçant ainsi les cellules chiliennes internes défectueuses.

Dans la littérature de spécialité, il existe beaucoup d'études sur les enfants implantés et appareillés (Courtin, 2006 ; Hage, Chalier et Leybaert, 2006). La plupart des travaux ont pointé que le développement après l'implant cochléaire est souvent influencé par l'âge

13 Lepot-Froment, C. et Clerebaut, N. (1996). *L'enfant sourd: communication et langage*. Paris : De Boeck Supérieur.

14 Krahe, J. L. (2007). *Surdité et langage: prothèses, LPC et implants cochléaires*. Saint Denis: Presses universitaires de Vincennes.

de l'implant (Tyler et *al*., 1997), l'environnement de l'enfant, l'utilisation du langage oral ou gestuel (Miyamoto et *al*., 1992 ; O'Donoghue et *al*., 2000), par les habilités d'audition avant l'implantation (Szagun, 2004), etc. Leybaert et Colin (2007) ont accentué l'importance des informations visuelles dans le cas des enfants sourds et malentendants.

Par ailleurs, l'implant cochléaire devrait apporter à l'enfant une base importante pour le développement de la perception et de la production de la parole.

Dans ce contexte, nous pouvons citer les études de Geers et Moog (1994) sur les enfants implantés, avec un déficit supérieur à 100 dB. Ils ont observé 2 groupes des enfants implantés : un groupe qui a utilisé des aides conventionnelles et un autre groupe qui a utilisé des aides tactiles. Les résultats ont indiqué que le groupe qui a utilisé les aides tactiles a obtenu des meilleures performances que le groupe qui a utilisé les aides conventionnelles.

Il existe d'autres travaux qui ont montré les effets de l'implantation cochléaire sur les enfants sourds. Par exemple, Blamey et *al.* (2001) ont pointé que, dans le cas des enfants munis d'un implant cochléaire, ont été observés des effets positifs sur la perception de la parole et une amélioration de 28 dB des niveaux auditifs (Krahe, op. cit., p. 28).

Parmi les avancées spectaculaires de la dernière décennie, nous pouvons aussi citer les traitements transtympaniques qui sont utilisés dans la compréhension des mécanismes responsables des troubles auditifs. Par exemple, il existe actuellement des molécules anti-apoptotiques qui permettent de ralentir la dégradation des cellules ciliées chez l'animal ou des substances antiglutamates (neurotransmetteur des cellules sensorielles) qui stoppent les acouphènes chez l'animal. Les recherches actuelles, par exemple, celles menées par l'Inserm et le CEA porte sur le développement d'un système de pompe implantable dans l'oreille interne. Pour résumer, le but de ces traitements est d'identifier des cibles thérapeutiques.

En même temps, nous pouvons aussi citer les avancées en génétique. De nos jours, il a beaucoup de recherches qui portent sur l'identification des gènes responsables de surdité (par exemple, le DFNB1, qui a été découvert en 1997 par l'équipe de Christine Petit et qui explique 50% des surdités congénitales). Les études ont montré que la connaissance de ces gènes permet de faire un diagnostic moléculaire, un conseil génétique pour les familles concernées, de prévenir les personnes à risque et de choisir la méthode de réhabilitation.

G. Quelques particularités des personnes sourdes et malentendantes

La perte auditive a beaucoup de répercussions sur la capacité de la personne à communiquer. Plus précisément, les nombreuses études (Meadow-Orlans, 1987 ; Newport et *al*., 1985) ont pointé des retards importants dans l'acquisition du langage et

des difficultés de communication. Par exemple, nous pouvons citer les retards dans l'apparition des premiers phonèmes. Dans le cas de l'enfant entendant, l'apparition des premiers phonèmes aura lieu entre 6 et 10 mois. En revanche, dans le cas des enfants sourds profonds, l'apparition des premiers phonèmes aura lieu entre 12 à 26 mois.

Les recherches de Meadow-Orlans (1987) ont insisté sur le fait que si l'enfant ne répond pas aux stimuli et ne commence pas parler jusqu'à l'âge de 10-18 mois, les parents doivent s'inquiéter. Ca pourrait être l'un des premiers signes que leur enfant est sourd.

Des autres travaux de Newport et *al*. (1985) ont indiqué que les premiers signes en langue gestuelle sont visibles à partir de 5 ou 7 mois pour l'enfant sourd. Il nous semble intéressant de préciser que ces premiers signes en langue gestuelle apparaissent plus tôt que les premiers mots chez les enfants entendants. L'explication serait que la motricité qui entraine le langage gestuel se ferait plus tôt que le langage oral.

D'ailleurs, pour l'enfant sourd et malentendants, il est évident que le regard constitue la clé majeure pour communiquer avec les autres. Nous pouvons citer les études de Gregory et Mogford (1981) qui ont mis en évidence le fait que les mères sourdes utilisent beaucoup de pauses entre le temps de communication pour attirer le regard de l'enfant sourd.

Le facteur le plus important qui influencera le processus d'apprentissage et les réussites scolaires ultérieures est représenté par l'acquisition précoce de la langue. Par ailleurs, nous pouvons citer 3 facteurs principaux dans le développement de l'enfant sourd : le degré de perte auditive, l'âge de début de la perte auditive et la présence ou non d'autres handicaps associés. Chez les enfants sourds et malentendants, l'intelligence non verbale constitue un facteur primordial dans le développement du langage.

Les recherches ont pointé que plus le degré de perte auditive est élevé, plus les déficits sur le plan du langage sont importants. Par ailleurs, les recherches ont montré que la déficience auditive a des répercussions importantes sur les apprentissages scolaires. Plus précisément, 41% des enfants déficients auditifs de 6 à 11 ans savent lire et compter sans difficulté, pour 81% dans la population générale.

Par exemple, il y a des observations qui montrent que les enfants dont la perte auditive est intervenue avant l'âge de 5 ans, et plus encore avant l'âge de 2 ans, présentent des déficits dans les apprentissages plus importants que les enfants dont la perte auditive est intervenue après la période d'acquisition du langage.

Comme tous les enfants sourds n'ont pas accès au langage oral, un autre moyen de communication accessible aux enfants sourds est l'apprentissage du langage des signes, qui devient indispensable dans le cas d'une déficience auditive profonde. Plus précisément, l'enfant sourd apprend à intégrer toutes les structures morphologiques et

grammaticales de sa langue des signes. En conséquence, il deviendra un locuteur courant et parfaitement éloquent de la langue des signes.[15]

En plus, d'autres recherches dans le domaine ont aussi montré des difficultés de lecture (Allen, 1994 ; Chamberlain et Mayberry, 2000) et d'écriture (Hage, 1994 ; Leybaert, 2000), des difficultés de conceptualisation chez l'enfant sourd et dans le développement des fonctions exécutives.

Dans la littérature de spécialité, nous retrouvons aussi des retards d'acquisition dans les domaines sémantiques et syntaxiques/morphologiques (Clarke et Rogers, 1981 ; Moeller et *al*., 1986 ; Osberger et *al.*, 1994) mais aussi beaucoup de travaux (De Villiers et *al*., 1994) qui portent sur les aptitudes pragmatiques des enfants déficients auditifs. Plusieurs études montrent que les compétences pragmatiques des enfants déficients auditifs d'âge scolaire sont nettement déficitaires. Nous pouvons aussi citer des retards dans l'acquisition du discours ainsi que les enfants sourds atteints de faibles niveaux d'intelligibilité de la parole (Seyfried et Kricos, 1989) et aussi des retards dans l'acquisition du vocabulaire (Davis, Elfenbein, Chum et Bentler, 1986 ; Mellier et Deleau, 1991). Par exemple, les travaux de Davis, Elfenbein, Chum et Bentler (1986) ont montré que les enfants qui ont des pertes auditives modérées (56-70 dB) montrent 1 an de retard dans le développement du vocabulaire par rapport aux enfants entendants, ceux qui ont des pertes auditives sévères (71-90 dB) montrent 3 ans de retard dans le développement du vocabulaire par rapport aux autres et ceux avec une surdité profonde (<91 dB) ont un retard important dans le développement du vocabulaire. Dans le même contexte, les travaux de Mellier et Deleau (1991) ont indiqué l'apparition d'un vocabulaire de 10 mots à 23 mois et d'un vocabulaire de 50 mots à 29 mois.[16]

En tenant compte des autres difficultés observés dans les cas des personnes sourdes, il n'est pas surprenant d'apprendre que l'acquisition de la syntaxe et de la morphologie grammaticale est également très en retard. Il existe aussi beaucoup de travaux (Geers et Moog, 1978 ; Quigley et King, 1980) concernant cette problématique.

En conclusion, l'altération de la perception auditive prive l'enfant de beaucoup d'informations et nous observons aussi des répercussions significatives en termes d'adaptation scolaire et psychosociale mais aussi des conséquences importantes sur le développement cognitif, affectif et psychosocial.[17]

15 Guidetti, M. et Tourrette, C. (2014). *Handicaps et développement psychologique de l'enfant*. Paris : Armand Colin.

16 Ibid, p. 91

17 Lauwerier, L., de Lenclave, M. B. D. C. et Bailly, D. (2003). Déficience auditive et développement cognitif. Hearing impairment and cognitive development. *Archives de pédiatrie, 10*(2), 140-146.

Comme notre thèse porte sur le développement cognitif, nous avons décidé de décrire et de présenter séparément le fonctionnement du développement cognitif d'une personne sourde dans le chapitre suivant.

II. L'apprentissage et le développement cognitif des personnes sourdes et malentendantes

A. Apprentissage et Théories de l'apprentissage

1. Tentatives de définition

L'apprentissage est une fonction indispensable pour l'adaptation à l'environnement. Il est essentiel de préciser que la capacité d'apprentissage est une des particularités du système cognitif.[18]

Selon René la Borderie, « le terme d'apprentissage englobe la réalité des activités plus complexes que celles liées à apprendre: on regroupe ainsi derrière ce concept tout ce qui relève du comprendre; c'est pourquoi certains préfèrent ces deux activités et parlent d'apprentissage d'une part et de comprentissage d'une autre part » (1998, voir 1994 cité par Perraudeau, 2006, p. 14). De plus, d'après Piaget (1974), l'apprentissage est un processus qui englobe deux termes complémentaires comme « réussir » et « comprendre ». Plus précisément, pour lui « la réussite est une sorte de compréhension en action ».

Finalement, il nous semble important de préciser que l'apprentissage peut être défini de deux points de vue: l'un de la psychologie et l'autre de l'éducation.

1.1. L'apprentissage et l'approche psychologique

Du point de vue de la psychologie, l'apprentissage est défini comme « une modification de la capacité d'un individu à effectuer une tâche, sous l'effet de l'interaction avec l'environnement. » (Perraudeau, 2006, p. 16).

Le processus d'apprentissage est influencé par quelques facteurs internes comme la motivation, la vigilance et la fatigabilité. L'apprentissage est aussi influencé par la situation dans laquelle il se déroule. Par exemple, certaines situations sont considérées facilitantes, contrairement aux autres.[19]

Selon Houdé (1998), il existe une classification du processus d'apprentissage : des apprentissages élémentaires et des apprentissages plus complexes. Les apprentissages

18 Tijus, C. et Blanchet, A. (2001). *Introduction à la psychologie cognitive*. Paris : Nathan.

19 Perraudeau, M. (2006). *Les stratégies d'apprentissage. Comment accompagner les élèves dans l'appropriation des savoirs*. Paris : Armand Colin.

élémentaires, sont influencés par les stimuli de l'environnement comme, par exemple, les formes de conditionnement. Ensuite, la deuxième catégorie, celle des apprentissages plus complexes, est liée au sens que le sujet attribue aux stimuli.

Cette classification est dérivée des trois grandes théories comme le comportementalisme/behaviorisme, le cognitivisme (aux Etats-Unis) et le constructivisme (en Europe).

Le modèle « traditionnel » du comportementalisme a monopolisé la première moitié du XX siècle. Les adeptes du behaviorisme postulent que le processus d'apprentissage est le résultat de répétitions. Par conséquent, leur croyance pédagogique est qu'il faut proposer à l'apprenant qui se trouve en difficulté des contenus simplifiés (découpés en petites unités) et de façon répétitive. En effet, l'élève réagit en fonction de la situation donnée et en fonction des renforcements reçus. Il est important de préciser qu'un système de renforcement positif ou négatif peut stimuler l'élève.

Parmi les théories d'apprentissage les plus importantes nous pouvons citer aussi le cognitivisme (aux Etats-Unis) et le constructivisme (en Europe).

Pour résumer, les adeptes du cognitivisme critiquent le premier modèle, le behaviorisme. Leurs postulats portent sur l'étude du fonctionnement de l'intelligence, de l'origine de nos connaissances ainsi que sur le traitement des comportements recueillis.

Dans le cognitivisme, il existe deux courants opposés comme le symbolisme et le connexionnisme. Au centre du symbolisme, nous avons les symboles qui ont le rôle de fonder les mécanismes de la pensée et qui sont ordonnés par des règles. D'ailleurs, dans le cas du symbolisme, l'information est traitée étape par étape et à partir des modules spécialisés.

Ensuite, dans le cas du connexionnisme, il est nécessaire de prendre en compte le jeu de connexions entre les neurones. Dans ce cas, le traitement de l'information n'est pas séquentiel comme dans le cas du symbolisme, mais parallèle.

Une autre théorie de l'apprentissage est le constructivisme, qui s'oppose au behaviorisme. Un pionnier du constructivisme était Piaget. Selon Piaget, la pensée humaine est un ensemble de structures qui s'élaborent au cours du développement, sous l'influence de 2 mécanismes importants comme l'assimilation et l'accommodation.

Il est important de préciser qu'ils ont ajouté au paradigme constructiviste classique une composante sociale. Par conséquent, nous avons un changement du modèle bipolaire de l'apprentissage (sujet – objet) à un modèle tripolaire (sujet interagissant avec autrui – objet).

1.2. L'apprentissage et l'approche éducative

Par ailleurs, l'apprentissage peut être défini aussi du côté de l'éducation. De ce point de vue, l'apprentissage porte sur l'appropriation « des savoirs, des savoir-faire, des savoir-être ». Plus précisément, le processus d'apprentissage est attaché à l'élève et au savoir dans un cadre défini par le triangle pédagogique (Houssaye, 1993). Houssaye a créé un model de compréhension pédagogique qui « définit tout acte pédagogique comme l'espace entre les trois sommets d'un triangle : l'enseignant, l'étudiant et le savoir » (Houssaye, 2000, p. 1).

En effet, du point de vue de l'éducation, il existe trois approches: maturationnisme, l'extériorité et l'interstructuration.

Les adeptes du maturationnisme (ou la théorie du primat biologique – Gessel) mettent l'accent sur les facteurs génétiques et sur l'absence d'influence des facteurs environnementaux sur le développement de la personne. Dans ce cas, tout est déterminé, programmé dès la conception. Autrement dit, dans le maturationnisme, le rôle de l'éducation est minimisé.

Ensuite, dans le cas de la deuxième théorie, l'extériorité, nous avons le savoir au centre du processus d'apprentissage. Les postulants (comme Skinner) de cette approche considèrent que l'enseignant transmet des connaissances extérieures aux élèves. Leur théorie ne prend pas en compte les particularités des élèves.

Les disciples/adeptes de l'interstructuration (comme Piaget, Bruner, Vygotsky, Doise et Mugny) pensent que l'interaction entre l'apprenant et le savoir constitue le fondement du processus d'apprentissage. Dans ce cas, ils soulignent l'importance de la composante sociale (le conflit sociocognitif).

2. Les mécanismes d'apprentissage

Une stratégie d'apprentissage est définie comme l'acquisition d'une façon de procéder afin d'optimiser le résultat et d'aboutir à un produit final.

Par exemple, dans un apprentissage de type comportementaliste, le rôle de la réussite est primordial et l'apprentissage se réalise par reproduction. Dans ce cas, l'accent est mis sur la nécessité d'efficacité et de réussite et non celle de la compréhension (par exemple, la répétition).

Dans un apprentissage de type constructiviste, c'est l'inverse, la compréhension joue un rôle très important. Les adeptes du constructivisme sont plus intéressés à la compétence qu'à la performance. Par exemple, dans ce cas, le professeur met volontairement en place une situation qui confronte l'élève à un nouvel obstacle.

Parmi les mécanismes d'apprentissage utilisés, nous pouvons citer l'acquisition de nouvelles connaissances (le stockage d'une nouvelle information), l'amélioration du recouvrement des connaissances (la pertinence des liens entre les concepts), l'automatisation (s'acquiert avec la répétition), la concaténation (capacité d'associer et de regrouper les éléments disjoints qui forment un groupe), la création/élimination de liens entre connaissances, la création de catégories, l'affectation catégorielle et recatégorisation, la restructuration de catégories, la différentiation/discrimination, l'intégration des catégories, la construction de schémas et de scripts (structures de connaissances utilisées pour comprendre, apprendre, planifier, anticiper), la prise de conscience (la contradiction entre les effets attendus de l'action et les effets observés), etc.

3. Les composantes de l'apprentissage

Dans la littérature de spécialité, nous retrouvons plusieurs pratiques pédagogiques favorisant le processus d'apprentissage.

Par exemple, nous pouvons citer la théorie de Vygotsky et la zone de proche développement. Selon Vygotsky (1985), le concept de ZPD[20] fait référence aux capacités qu'une personne dispose avec une aide extérieure sans les avoirs de façon indépendante. Par conséquent, l'enseignant devient un accompagnateur, un intermédiaire entre le savoir et l'élève.

Nous retrouvons aussi la théorie de Bruner (1983) qui porte sur l'étayage de tutelle. Plus précisément, Bruner considère que l'étayage représente une « collaboration » avec l'élève en activité. Cette médiation a le but d'accentuer une distance entre l'enseignant et l'élève lors d'une activité.

Dans le processus d'apprentissage, l'erreur joue un rôle très important. En général, l'erreur (la faute) est prise en compte de façon négative parce qu'elle indique les lacunes de la personne. La plupart des fois, elle renvoie au schéma d'une culpabilisation impliquant pénitence et repentance.

Selon Inhelder, Sinclair et Bovet (1974), les erreurs peuvent constituer un « indicateur de la démarche authentique de la pensée en évolution ». Par ailleurs, l'erreur est substantielle au processus d'apprentissage. Selon Bachelard (1993), la rencontre de l'élève avec l'erreur et les nouveaux obstacles a le but de le faire progresser et d'acquérir de nouvelles connaissances. Selon Houdé (2008), il est essentiel d'apprendre au cerveau à corriger ses erreurs. En conclusion, le processus d'apprentissage devient le dépassement d'une erreur et le caractère de l'erreur devient nettement structurant.

20 ZPD : la Zone de Proche Développement

B. Le développement cognitif

1. Les théories générales du développement cognitif : la théorie du développement de Piaget

Dans la littérature de spécialité, il existe plusieurs théories générales du développement cognitif de la personne. En liaison avec notre sujet de thèse, nous avons choisi de faire appel à la théorie du développement de Piaget.

D'ailleurs, dans la conception psychologique définie par Piaget, la capacité d'apprentissage de l'élève dépend directement du niveau de développement de son raisonnement. Selon la théorie de Piaget, il existe une composante commune à tous et le développement de l'intelligence se fait au long de 4 stades.

Le développement de l'intelligence commence avec la période sensori-motrice qui dure depuis la naissance jusqu'à 2 ans. Cette période est caractérisée par :

- la modification des reflexes : de la naissance à 1 mois ;
- les réactions circulaires primaires : de 1 mois à 4 mois ;
- des réaction circulaires secondaires : de 4 mois à 8 mois ;
- la coordination des réactions circulaires secondaires : de 8 mois à 12 mois ;
- des réactions circulaires tertiaires : de 12 à 18 mois ;
- les débuts de la pensée représentationnelle : de 18 à 24.

Ensuite, le développement de l'intelligence continue avec la période préopératoire (de 2 à 6-7 ans). Les particularités de cette étape sont les représentations symboliques précoces. D'ailleurs, Piaget a observé que le premier signe des représentations internes est l'imitation différée et que, dans l'acquisition des représentations internes, les enfants utilisent les symboles (des représentations personnelles). Une autre caractéristique de cette phase est représentée par la pensée égocentrique de l'enfant qui se fait toujours en fonction de leur propre perspective.

Le développement cognitif de l'enfant se poursuit avec la période suivante, celle des opérations concrètes (de 6-7 à 11-12 ans). Ce stage est caractérisé par l'acquisition des opérations (par exemple, les problèmes de conservation – la quantité des liquides, la quantité et le nombre des solides).

La dernière étape du développement cognitif est constituée par la période des opérations formelles (à partir de 11/12 ans). La particularité de cette période est la

pensée abstraite et systématique de l'adolescent. L'un des plus grands changements de la pensée concerne le passage des opérations concrètes aux opérations formelles.[21]

2. Le développement cognitif de l'adolescent

Comme notre échantillon était composé des 80 jeunes adolescents, il nous semblait important de souligner en même temps quelques caractéristiques du développement cognitif de l'adolescent. De plus, la plupart des travaux montrent que les serious games sont surtout utilisés par les adolescents.

Par ailleurs, l'adolescence représente une étape très importante dans le développement cognitif de la personne. La maturation cérébrale n'est pas encore terminée à l'adolescence mais elle constitue une période de grand potentiel cognitif.

Les recherches (Lehalle, 2006 a et b) dans ce domaine ont indiqué des changements cognitifs au moment de l'adolescence. Plus précisément, à l'adolescence, nous observons une gestion plus complète et plus systématique de ce qui détermine les phénomènes. Par exemple, Inhelder et Piaget (1955) ont observé la mise en place des raisonnements expérimentaux chez les adolescents. D'autres travaux ont indiqué des difficultés du raisonnement expérimental chez les enfants et les jeunes adolescents. A partir de l'adolescence, les chercheurs ont remarqué la présence du raisonnement hypothético-déductif (Danner et Day, 1977 ; Kuhn et Franklin, 2006 ; Lehalle, 2006a).

Ensuite, il a été démontré que les adolescents pensent le réel par le virtuel. Selon Piaget, à l'âge de l'adolescence, il existe un renversement des rapports entre le réel et le virtuel.

Une autre caractéristique du développement cognitif des adolescents est la réversibilité. Selon Piaget, elle est définie comme « la capacité d'exécuter une même action dans les deux sens du parcours mais en ayant conscience qu'il s'agit de la même action ». (Piaget, 1950, volume 2, p. 44).

Ensuite, la période de l'adolescence est caractérisée par une pensée abstraite ou de plus en plus abstraite qui prolonge le niveau antérieur des « représentations ». Plusieurs travaux (Keil, 1998 ; Kuhn et Franklin, 2006 ; Lehalle, 2006 ; Lautrey, 2006) ont convergé vers cette idée. Comme nous l'avons déjà précisé, cette étape est caractérisée par la coexistence de deux types de raisonnement qui sont liés à la possibilité de

21 Lautrey, J. (2006). Les théories néo-piagétiennes. S. Ionescu et A. Blanchet (dir.), *Nouveau cours de psychologie. Psychologie du développement et psychologie différentielle*, (p. 78-102). Paris : PUF.

formuler des hypothèses et d'en déduire des conséquences à vérifier (le raisonnement hypothético-déductif).[22]

En conclusion, dans le cas des adolescents, il est essentiel de leur induire le mode hypothético-déductif afin de leur faire examiner toutes les possibilités offertes par le jeu ludo-éducatif.

3. Le développement cognitif de l'enfant sourd

L'impact de la surdité sur le développement de l'enfant a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs. Par ailleurs, de nombreuses études portent sur les capacités cognitives des enfants déficients auditifs. Par la suite, nous allons citer quelques travaux par ordre chronologique.

Les recherches anciennes (Blair, 1957 ; Caouette 1973 ; Oléron, 1951, 1972, 1973, 1981 ; Patterson et Pintner, 1923 ; Pintner et Reamer, 1920) ont montré qu'il existe des différences significatives entre le fonctionnement cognitif de l'enfant sourd et celui de l'enfant entendant.

Plus précisément, Patterson et Pintner (1923) ont créé une première échelle non-verbale pour évaluer l'intelligence. Ils ont observé que les enfants sourds ont un retard de 2 ans concernant les scores obtenus pour le QI.

D'ailleurs, Blair (1957) a mené une étude sur le développement cognitif de 53 enfants sourds, enfants qui ont été testés avec le test d'intelligence Chicago. Il a observé que les enfants sourds ont des difficultés concernant l'abstraction, la capacité de synthèse et des difficultés de conceptualisation.

Oléron (1951, 1972, 1973, 1981) a étudié les relations qui existent entre le développement mental et le langage. En même temps, il a essayé de distinguer les activités mentales qui dépendent du langage et celles qui ne dépendent pas du langage. Ses recherches portent beaucoup sur les différences entre les enfants sourds (surtout les enfants qui ont utilisé la langue des signes) et entendants. Les travaux d'Oléron ont montré qu'il existe des retards systématiques chez les enfants sourds de 6 ans. Furth (1966) a observé un écart de 2 ans. Ces retards concernent des épreuves piagétiennes comme la sériation ou la conservation des quantités (liquide, poids) et la construction de l'espace. Concernant les épreuves perceptives, il n'y a pas des différences significatives entre enfants sourds et entendants. Oléron considère que l'absence du langage oral est l'explication principale pour ces difficultés et retards. Son opinion est que le passage du niveau perceptuel au niveau conceptuel de la pensée est difficile à atteindre, voire

22 Ionescu, S. et Blanchet, A. (2007). *Nouveau cours de psychologie (Master). Psychologie du développement et de l'éducation.* Paris : PUF.

impossible. En outre, Oléron (1981) a constaté que les enfants sourds qui ont commencé à utiliser la langue des signes à un âge précoce, auront un progrès évident dans le milieu scolaire.

Les recherches d'Oléron et des ses collaborateurs ont été dominantes dans ce domaine jusqu'en 1960 quand Myklebust a proposé d'autres hypothèses. Dans cette deuxième étape, les personnes sourdes sont vues comme concrètes. Plus précisément, Myklebust (1960) a testé les enfants sourds et les enfants entendats avec le test de Matrices de Raven. Il a remarqué que les enfants entendants ont obtenu de meilleurs scores aux épreuves de classification et au raisonnement par analogie. En revanche, les sourds ont obtenu des scores plus élevés aux épreuves mesurant la pensée concrète. D'après Myklebust et Maisonny, ces retards seraient les conséquences d'une carence éducative. Il faudrait prendre en compte les particularités de la personne sourde et aussi leur expérience qui est modifiée en fonction du degré de la déficience auditive.

En conclusion, dans les années 1960, les travaux ont souligné des retards des enfants sourds dans l'écrit, la mémoire et la résolution de problèmes.

L'étape suivante dans l'histoire de la surdité a été dominée par les travaux menés par Rosenstein (1961), Furth (1966) et Vernon (1967). D'après Furth (1966), les retards des enfants sourds sont les conséquences du manque de stimulations que les enfants subissent dans les établissements scolaires.

Rittenhouse (1977) a mené des recherches sur la conservation des quantités. Il a comparé 2 populations (les sourds et les entendants) et a remarqué que les enfants sourds ont un retard de 2-3 ans dans la réalisation des épreuves.

Quigley et Kretschmer (1982) considèrent que les différences existantes entre les entendants et les sourds sont dues à l'incapacité des chercheurs de transmettre l'information correcte aux enfants sourds par rapport à leurs expériences antérieures. Cette incapacité est la conséquence des différences langagières entre les deux populations.

Les travaux de Caouette (1973) sur le développement cognitif des enfants sourds ont montré des retards en ce qui concerne le raisonnement opératoire (conservation, sériation, ordre), la pensée logique et abstraite et l'activité catégorielle. Il s'agit d'un retard de 4 ans dans la réussite des épreuves de stade opératoire concret. Caouette (1973) a indiqué que les enfants s'arrêtent au stade des opérations concrètes et n'ont pas accès au stade des opérations formelles. Les travaux de Best et Roberts (1976) ont indiqué que les sourds progressent normalement au niveau du stade sensorimoteur.

En conclusion, nous pouvons constater que vers les années 1970 commence une autre période où les personnes sourdes sont considérées intellectuellement normalles.

Nous pouvons aussi citer les études de Portalier (1981) qui portent sur les profils intellectuels des déficients auditifs. Plus précisément, il a fait appliqué à 150 enfants de 6 à 15 ans le W.I.S.C. (Wechsler Intelligence Scale for Children). Ensuite, il a analysé les réponses d'Enfants déficients sensoriels au W.I.S.C. Son but était d'étudier les structures intellectuelles originales des déficients à l'intérieur même de la population déficitaire. Les résultats ont montré que la différence des QI est non-significative entre les filles et les garçons et que c'est essentiellement l'âge qui fait varier le résultat global du test et ceux obtenus pour chaque item du W.I.S.C. De plus, les résultats indiquent que, paradoxalement, le QI s'améliore à mesure qu'augmente le degré de déficit. Autrement dit, le système déficitaire influe sur le niveau de handicap.

Les études plus récentes ont beaucoup critiqué les perspectives des études antérieures. Par exemple, Deleau et Weil-Barais (1994) ont beaucoup critiqué les travaux d'Oléron. D'après eux, les enfants sourds sont perçus comme un « groupe de contrôle sans langage », comme des personnes entendantes sans le langage.

Ensuite, Courtin et *al.* (2000) se sont intéressés plutôt aux conséquences de la privation du langage sur le développement de l'enfant.

D'ailleurs, il existe beaucoup de travaux assez récents (Marschark, 2003 ; Moores, 2001 ; Marschark et *al*., 2006) qui se sont aussi intéressés à l'étude des capacités cognitives des enfants déficients auditifs.

Précisément, Vernon (1968-2005), a montré que sourds et entendants sont très similaires quant à l'intelligence non verbale. Les études de Marschark (2006) vont dans le même sens. De plus, Marschark (2003) considère que « différent ne signifie pas déficient ». Selon lui, « les enfants sourds ne sont pas des entendants qui ne peuvent pas entendre » (Marschark, 2007, p. 272).

Comme nous l'avons vu, beaucoup d'anciennes recherches considéraient que la surdité est surtout liée à la privation du langage. D'ailleurs, Wood considérait que les retards observés chez les personnes sourdes et malentendantes sont les conséquences d'une carence de communication entre les entendants et les déficients auditifs. Plus précisément, les entendants ont des difficultés à communiquer et à transmettre l'information aux personnes déficientes auditives.

Par ailleurs, il y a des recherches qui se sont concentrées sur les tests de Wechsler. Dans notre méthodologie, nous allons utiliser l'échelle non-verbale de Wechsler. Les résultats concernant la partie non-verbale ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les personnes sourdes et entendantes. En revanche, concernant la partie verbale du test, les résultats ont indiqué qu'il y a des différences significatives entre les sourds et les malentendants. Par exemple, les travaux de Douet (1990) ont rapporté des différences qui varient de 16 à 29 points pour les QI moyens de 100 points. Ainsi, la

conclusion de ces études est que les QI des sourds sont comparables avec ceux des entendants et que la surdité n'implique pas nécessairement un déficit intellectuel (Marschark et *al*., 2006).

De plus, nous avons remarqué que la principale conséquence de la surdité chez les enfants est qu'elle bloque le développement de la langue parlée, donc on peut faire l'hypothèse que le langage parlé contribue au développement cognitif de l'enfant. Néanmoins, il a été démontré que les enfants sourds peuvent stimuler leur « pensée intérieure », l'attention, la mémoire de travail et la vitesse de traitement.

Nous reviendrons plus tard sur ce sujet et nous allons présenter quelques recherches qui se sont intéressées aux habilités cognitives non-verbales des personnes sourdes et malentendantes et aussi des personnes entendantes.

Nous pouvons conclure que les recherches après les années soixante ont constaté que les personnes sourdes sont des personnes intellectuellement normales et elles ont accentuées les variations interindividuelles importantes, trouvées particulièrement dans les niveaux scolaires.

3.1. Le jeu symbolique chez l'enfant sourd

Par la suite, nous avons choisi de présenter quelques particularités du jeu symbolique chez les enfants sourds. Notre choix a été influencé par le fait que le jeu symbolique est un indicateur important pour évaluer le développement cognitif de l'enfant. Il existe beaucoup de recherches (Casby et McCormack, 1985 ; Gregory, 1986 ; Gregory et Mogford, 1983 ; Vinter et Chalumeau, 1983) qui s'intéressent aux particularités du jeu symbolique chez l'enfant sourd.

Précisent, le jeu symbolique se définit comme « la capacité de substituer un objet par un autre dans le jeu. Le développement du jeu symbolique dépend de la capacité à se représenter mentalement des objets ou des événements qui ne sont pas présents sur le moment même » (Lauwerier, Lenclave et Bailly, 2003, p. 142). Selon Tourette et Guidetti (2008), l'objectif du jeu symbolique est de prouver que l'enfant est capable « d'évoquer et de mettre en scène des objets et des évènements absents » [23].

Plusieurs travaux (Bornstein, Selmi, Haynes et *al*., 1999 ; Casby et McCormack, 1985 ; Spencer et Meadow-Orlans, 1996) se sont concentrés sur la relation entre l'apparition du jeu symbolique et le développement du langage. Plus précisément, ils ont constaté que le retard de langue aurait une influence importante sur l'apparition du jeu symbolique. D'autres études (Deleau, 1993, 1998) ont relevé des retards dans le

23 Guidetti, M. et Tourrette, C. (2014). *Handicaps et développement psychologique de l'enfant.* Paris *:* Armand Colin.

développement du jeu symbolique de l'enfant sourd. En outre, d'autres recherches ont indiqué des retards importants même dans les cas des enfants sourds natifs et tardifs.

Dans ce contexte, la question qui se posait était de savoir comment développer le jeu symbolique chez les enfants sourds. La réponse a été qu'il fallait créer et aménager des environnements éducatifs adaptés aux besoins des enfants sourds. Selon Darbyshire (1977), il faut conseiller aux enfants sourds et malentendants des jeux éducatifs comme les jeux de construction ou jeux de règles. Ces jeux auront des conséquences positives sur le développement cognitif de la personne ainsi que sur le développement du langage et de l'empathie.

Pour résumer, la plupart des travaux qui portaient sur les différences entre les enfants sourds et ceux entendants ont indiqué que les enfants entendants agissent selon un script, un plan établi par avance. En revanche, les enfants sourds relèvent d'une planification mentale moindre (Gregory, 1986 ; Lowe et Costello, 1988). Egalement, les recherches ont pointé qu'ils sont très attachés aux contextes immédiats et très facilement préoccupés par d'autres éléments extérieurs. En conséquence, il est recommandé d'effectuer des séances de travail plus courtes pour les enfants sourds/malentendants.

Pour conclure, l'étude du jeu symbolique est très importante et peut être utilisée comme un outil thérapeutique et de développement.[24]

3.2. Les apprentissages scolaires chez l'enfant sourd

Ensuite, nous avons choisi de présenter quelques particularités concernant les apprentissages scolaires chez les enfants sourds. Les apprentissages scolaires testent la compréhension de l'élève et en même temps sont basées sur l'appropriation de plusieurs mécanismes.

Par ailleurs, les statiques indiquent que les personnes déficientes auditives rencontrent aussi des difficultés dans leurs apprentissages scolaires. Plus précisément, il a été montré que « la surdité n'est pas un empêchement majeur pour la poursuite des études primaires et secondaires, mais que très peu de sujets sourds accèdent aux études universitaires » (Lauwerier, Lenclave et Bailly, 2003, p. 144).[25]

La plupart des travaux ont pointé des retards dans le domaine de la lecture et de l'écriture malgré la répartition normale des niveaux d'intelligence des personnes

24 Lepot-Froment, C. et Clerebaut, N. (1996). *L'enfant sourd: communication et langage*. Paris : De Boeck Supérieur.

25 Lauwerier, L., de Lenclave, M. B. D. C., et Bailly, D. (2003). Déficience auditive et développement cognitif Hearing impairment and cognitive development. *Archives de pédiatrie, 10*(2), 140-146.

sourdes. Par exemple, plusieurs études (Paul et Jackson, 1993)[26] ont considéré que « le niveau en lecture et en écriture des étudiants sourds âgés de 17 à 18 ans est en moyenne celui d'enfants bien-entendants âgés de 8 à 9 ans ».

L'explication serait que les enfants sourds et malentendants ont un « manque de compétences langagières internalisées » (Lauwerier, Lenclave et Bailly, 2003, p. 141). Autrement dit, au moment où les enfants sourds sont en train d'apprendre à lire, ils sont encore en train d'assimiler des compétences linguistiques de base. En même temps, il nous semble essentiel de préciser que le plus grand nombre de méthodes pour apprendre à lire sont des techniques phonétiques auditives.

Une autre théorie sur ces difficultés d'apprentissage est celle de Gibson. D'après Gibson (1988)[27], « l'incapacité à séquentialiser un très grand nombre de segments mentaux à grande vitesse » est la responsable pour ces difficultés dans les apprentissages scolaires.

Par ailleurs, d'autres travaux (Moores, 1987)[28] indiquent que les élèves sourds et malentendants ont aussi des difficultés avec les sciences qui demandent une connaissance précise de la langue. D'un l'autre côté, il a été observé que ces élèves ne rencontrent pas de difficultés pour le calcul arithmétique et l'orthographe. Selon Moore, ces difficultés ne sont pas associées à des déficiences cognitives mais elles représentent les conséquences d'un système éducatif déficitaire qui ne sait pas comment exploiter les capacités des personnes sourdes et malentendants.

Pour conclure, il nous semble important de préciser que le niveau scolaire de ces élèves dépend de plusieurs facteurs comme le degré de perte auditive, le niveau intellectuel, le support parental, la méthode d'éducation, etc. Cela signifie que la surdité, en soi, ne détermine pas le succès ou l'échec scolaire, mais plutôt interagit avec ces nombreux facteurs de manière complexe.

C. Les habilités cognitives non-verbales

Par la suite, nous allons présenter quelques caractéristiques des activités cognitives transversales chez les personnes sourdes mais aussi chez les entendants. Notre logiciel *Digisthésia* évaluait justement la mémoire, l'attention, la vitesse de traitement et aussi la capacité de résolution de problèmes. Par conséquent, il nous semblait important de faire une revue de littérature avant de vous présenter l'expérimentation.

26 Paul P. V. et Jackson D. W. (1993). *Toward a psychologyof deafness: theoretical and empirical perspectives*. Boston MA: Allyn et Bacon.

27 Gibson C. J. (1988). The impact of early developmental history on cerebral assymetries: implications for reading ability in deaf children. Dans D. L. Molfese et S. Segalowitz (dir.), *Brain lateralization in children: developmental implications* (p. 591-604). New York: The Guilford Press.

28 Moores D. F. (1987). *Educating the deaf: psychology, principles, and practices*. (3rd ed.). Boston MA: Houghton-Mifflin.

1. La mémoire

Beaucoup de travaux en psychologie ont pointé l'importance de la mémoire dans le fonctionnement cognitif de la personne.

Dans le cas des personnes sourdes et malentendantes, la mémoire a des particularités importantes. Plusieurs études anciennes considéraient que les personnes sourdes et malentendantes présentaient des déficits de mémoire. Les études actuelles ne sont plus d'accord avec ces théories. Par conséquent, nous allons présenter par la suite les caractéristiques de la mémoire chez les déficients auditifs.

En effet, au niveau de la mémoire, d'autres études (Marschark et *al*., 2006) ont constaté qu'il existe des différences significatives entre les personnes entendantes et sourdes. Précisément, les sourds et les entendants ont une manière différente dans l'organisation des connaissances et dans la représentation mentale. Par exemple, concernant l'organisation des informations, les travaux ont pointé que les entendants se souviennent plutôt les informations de manière globale. En revanche, les sourds et les malentendants se rappellent les parties d'une information. De plus, concernant la représentation mentale, « la différence serait attribuable à la nature de la représentation même utilisée pour le codage en mémoire de travail, basé pour les uns sur la parole et pour les autres sur les signes » (Marschark et *al*., 2006, p. 37).

Par ailleurs, la mémoire intervient à plusieurs niveaux dans le processus du jeu et peut être mesurée de différentes façons. L'acception des différences entre les élèves sourds et ceux entendants se fait pour les principaux types de mémoire.

Par exemple, concernant la mémoire à court terme, plusieurs études (Todmann et Cowdy, 1993) ont indiqué que la mémorisation de figures complexes à court terme est plus développée pour les sourds et malentendants.

Ensuite, il a été démontré que la mémoire à court terme a un rôle important dans l'apprentissage du langage oral. Brill (1953) a observé que la quantité d'informations pour les enfants sourds est fixée à 5 mots et non à 7 mots comme pour les enfants entendants.

D'autres travaux (Marschark et Mayer, 1998 ; Nunes et *al*., 2010) portent sur les particularités de la mémoire de travail chez les sourds. Par exemple, les recherches de Nunes et *al*. (2010), ont indiqué que les entendants obtiennent de meilleures performances à la mémoire de travail que les sourds. En outre, les études de Marschark et Mayer (1998) ont administré des questions sur le jeu et ils ont relevé que les joueurs expérimentés sourds et malentendants ont les mêmes performances que ceux entendants, par contre les résultats des joueurs inexpérimentés entendants étaient nettement supérieurs à ceux de leurs homologues. Leur étude mais aussi d'autres

(Bosworth et Dobkins, 2002) ont constaté que les performances des enfants sont liées aux nombre des parties joués et aussi que la mémoire de travail des personnes sourdes pourrait s'améliorer plus rapidement en jouant des jeux adaptés à leur usage.

Il nous semble important de préciser que les performances en mémoire de travail sont influencées par la vitesse de traitement de la personne (Feyereisen et coll., 2002). Nous allons revenir sur ce sujet plus tard.

Concernant la mémoire à long terme, plusieurs travaux (Grigonis and Narkevičienė, 2010, Marschark et *al*., 2006) ont constaté que la mémorisation à longue durée est plus développée chez les personnes entendantes. Par conséquent, il existe des différences entre la mémoire à long terme chez les entendants et les sourds. Précisément, les entendantes obtiennent de meilleurs résultats dans la mémorisation des textes et des séquences signés mais aussi dans les activités d'association.

Comme notre logiciel *Digisthésia* testait la mémoire visuo-spatiale, nous allons nous concentrer plus sur ce type de mémoire. Plusieurs recherches (O'Connor et Hermelin, 1978 ; Parasnis, 1983) ont pointé que les personnes déficientes auditives ont des performances différentes concernant la mémoire visuelle et la perception visuelle. En même temps, ces études indiquent que les sourds ont un développement diffèrent qui influence le système cognitif de la personne.[29]

Des travaux plus récents ont constaté que les capacités visuo-spatiales sont plus développées chez les sourds de naissance par rapport à des entendants ou devenus-sourds plus tardivement. Par exemple, Bellugi (1990) a administré le test d'organisation spatiale de Benton et il a comparé notamment les performances de mémoire visuo-spatiale entre un groupe des sourds signeurs et des sourds oralisés. Les résultats ont mis en évidence des meilleures performances pour les enfants sourds signeurs.[30]

2. L'attention et ses caractéristiques chez les personnes sourdes et malentendantes

2.1. Attention visuelle

En effet, au niveau de l'attention, nous retrouvons des particularités chez les personnes sourdes (Mazeau, 2003), surtout au niveau de l'attention visuo-spatiale.

Il existe plusieurs travaux (Bashinski et Bacharach, 1980 ; Nissen et Ogden, 1978 ; Posner, 1980 ; Posner, Posner, Snyder et Davidson, 1980) qui s'intéressent aux

29 Parasnis, I. et Samar, V. J. (1985). Parafoveal attention in congenitally deaf and hearing young adults. *Brain and cognition, 4*(3), 313-327.

30 Virole, B. (2006). 10. La pensée visuelle. Dans B. Virole, *Psychologie de la surdité* (Vol. 3, p. 205-222). Paris : De Boeck Supérieur.

performances de l'attention visuo-spatiale dans le cas des personnes sourdes/malentendantes et entendantes. Leur but était de recenser et comparer les différences existantes entre ces deux groupes. Par exemple, les travaux de Parasnis et *al.* (1996) ont pointé des meilleures performances au niveau de l'attention visuo-spatiale chez les sourds qui utilisent la langue des signes.

De plus, il existe des recherches (Smith, Quittner, Osberger et Miyamoto, 1998) qui se sont aussi intéressées aux conséquences de l'implant cochléaire sur l'attention des enfants sourds. Plus précisément, l'implant cochléaire influence positivement les processus de l'attention visuo-spatiale chez les enfants sourds implantés. Par conséquent, ils obtiennent de meilleures performances que les personnes sourdes non-implantées. L'explication serait que l'implant encourage le développement des stimuli visuels.

Si nous prenons notre cas, il est important de préciser que, dans un contexte ou le support est une tablette, l'attention visuelle est la capacité clé pour la compréhension. La taille réduite du support met l'accent sur une absorption d'informations à 2 niveaux : champ focal et vision périphérique.

Des études plus récentes (Proksch et Bavelier, 2002) ont montré que les sourds et malentendants ont un bon rendement dans l'utilisation de la vision périphérique et c'est justement pourquoi leur attention est plus facilement perturbée lors du parasitage des zones périphériques de l'écran. Pour les entendants il a été observé un phénomène inverse : ils sont plus perturbés par des événements rentrant dans le champ focal.

En effet, les travaux de Bosworth and Dobkins (2002a) portent aussi sur les différences existantes entre l'attention visuelle chez les entendants et chez les sourds. Leurs résultats vont dans le même sens et ils ont indiqué que les sourds obtiennent des meilleures performances dans l'orientation spatiale de l'attention visuelle et ils sont plus facilement distraits par les stimuli extérieurs. En outre, il a été observé que les sourds obtiennent de faibles performances dans les tâches d'attention sélective. De plus, il n'existe pas de différences significatives entre les deux groupes au niveau de l'attention divisée.[31]

2.2. Concentration

Que ce soit via des recherches sur le niveau d'attention (Dye et *al.*, 2008b), des tests comme UFOV – Useful Field Of View (Ball et *al.*, 1988; Dye et *al.*, 2009) ou de l'enquête

31 Mascio, T. D., Gennari, R., Melonio, A. et Vittorini, P. (2013). Designing games for deaf children : first guidelines. *International Journal of Technology Enhanced Learnig, 5*(3-4), 223-239.

des mères et professeurs Meadow (1980), l'acception générale est que les élèves sourds et malentendants ont des problématiques systématiques d'attention et concentration.

3. Vitesse de traitement

La vitesse de traitement de l'information permet de réagir de manière adéquate à un stimulus. « Dans les tâches cognitives élémentaires, la vitesse de traitement représente un indicateur global de performance qui dépend d'un grand nombre de paramètres » (Stankov et Roberts, 1997 cité par Lautrey, 2005, p. 45).

Plusieurs recherches (Salthouse 1996; Feyereisen et coll,. 2002) ont démontré que la vitesse de traitement de l'information est un intermédiaire indispensable entre plusieurs domaines de la cognition.[32] Par exemple, Salthouse (1980) considérait que la vitesse de traitement aurait une influence sur la mémoire de la personne. Plus précisément, il pensait que les performances de la mémoire augmentent si le traitement de l'information se fait plus rapidement. De plus, l'étude de Bryan et Luszcz (1996) va dans la même direction et a aussi souligné que la vitesse de traitement est positivement corrélée avec le rappel libre de mots.

D'autres études sur la vitesse de traitement ont indiqué une lenteur chez l'enfant sourd. Comme nous l'avons évoqué auparavant, dans le cas des élèves sourds, il est recommandable de prioriser et de traiter visuellement la plupart des informations. Précisément, il a été démontré que les sourds signeurs obtiennent des meilleures performances dans le domaine du traitement visuel que les entendants ou les sourds oralisants. Comme nous l'avons vu antérieurement, l'explication de ces résultats réside dans le fait que les sourds signants sont plus rapides et déplacent plus vite leur attention visuelle. De plus, ils ont une capacité très développée pour détecter les signes dans leur champ visuel périphérique (Bavelier *et al.*, 2000 ; Neville et Lawson, 1987) ou des stimuli en mouvement (Bavelier *et al.*, 2000). Ainsi, certains travaux (Marschark et *al*., 2003) ont aussi constaté que les sourds signants obtiennent des meilleurs résultats dans la manipulation d'images mentales et qu'ils sont plus rapides que les sourds oralisants. L'explication serait que ce sont les conséquences de l'utilisation de la langue des signes.

En outre, d'autres recherches (Stivalet, Moreno, Richard, Barraud et Raphael, 1998) ont pointé que, dans une tâche de détection de cible, les sourds obtiennent de meilleures performances que les entendants.

D'ailleurs, il a été montré que la vitesse de traitement dans une activité visuelle (par exemple, le barrage de Zazzo) est influencée par le moment de l'apparition de la surdité.

32 Hage, C., Charlier, B. et Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd: pistes d'évaluation*. Bruxelles : Editions Mardaga.

Plus précisément, les personnes sourdes congénitales sont plus rapides que les personnes devenues-sourdes et que les sourds âgés.[33]

4. La résolution de problèmes

Il a été démontré que, dans la résolution des problèmes, la mémoire est très importante. Elle se constitue à partir des différentes expériences antérieures vécues par les sujets.

Dans le cas des élèves sourds, il est primordial de simplifier le contenu et de le mettre en évidence sous une forme visuelle. Concernant leurs difficultés linguistiques, il est aussi recommandé de ne pas utiliser beaucoup le langage pour la présentation de la tâche.

De plus, dans des tâches de résolution de problèmes, il est aussi important de bien mettre en relation toutes les informations reçues. Par conséquent, plusieures études ont indiqué que les élèves sourds se concentrent plutôt sur l'information portée par chaque item pris isolément. En revanche, dans le cas des élèves entendants, les résultats ont relevé qu'ils essayent plutôt de créer une relation entre les items.

Néanmoins, d'autres travaux ont souligné qu'il n'existe pas beaucoup de différences entre les élèves sourds et les entendants s'il y a un seul paramètre pertinent dans une activité. Cependant, les entendants obtiennent de meilleures performances dans les tâches de résolution de problèmes s'il y a plusieurs paramètres pertinents dans une tâche à accomplir.

Par la suite, nous allons prendre l'exemple de la résolution des problèmes arithmétiques et nous allons faire une courte comparaison entre les deux populations, les élèves entendants et les élèves sourds.

Dans le cas de la résolution de problèmes arithmétiques, il a été démontré que le taux de réussite varie selon le type d'énoncé. Plus précisément, il existe plusieurs types de formulations comme, par exemple, les énoncés de type « changement » (ex. Marie avait 7 pommes, elle a donné 2 à Leslie ; combien de pommes a Marie en ce moment ?), de type « combinaison » (ex. Marie et Leslie ont ensemble 7 pommes. Marie a 5 pommes. Combien de pommes a Leslie ?) ou de type « comparaison » (ex. Marie a 5 pommes. Elle a 3 pommes de plus que Leslie. Combien de pommes a Leslie ?).

Dans le cas des enfants entendants, a été rapporté que les formulations de type « changement » ont le taux le plus élevé de réussite.

33 Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, L., Groff, J. et Boucheix, J. M. (2013). Quel format visuel adopter pour informer les sourds et malentendants dans les transports collectifs. *Le travail humain, 70*, 57-78.

D'ailleurs, les recherches ont indiqué que, concernant la résolution de problèmes, les enfants entendants obtiennent des meilleurs résultats que les élèves sourds. L'explication serait que les retards des élèves sourds seraient les conséquences des difficultés linguistiques. De plus, dans le cas de l'enfant sourd, il est important de se créer une image mentale de la situation avant de résoudre la tâche. Néanmoins, il a aussi été démontré que, comme dans le cas des enfants entedants, les élèves sourds réussissent mieux aux tâches avec une formulation de type « changement » (Hyde, Zevenbergen et Des Power, 2003)[34].

III. Les nouvelles technologies

A. La révolution technologique et l'adaptation numérique

On appelle « révolution technologique » le bouleversement en profondeur des sociétés survenu dans les nations industrialisées (notamment Europe occidentale, États-Unis, Japon) et provoqué par l'essor des techniques numériques, principalement l'informatique et Internet.[35] Cette révolution s'est aussi fait sentir dans le domaine des sciences humaines. D'un point de vue strictement technique elle a permis de miniaturiser et de rendre plus performants les systèmes d'aide à la communication proposés aux enfants handicapés. Cela a incontestablement facilité les apprentissages des enfants en lecture, en écriture, ou en matière de communication des besoins et des désirs, par synthèse vocale ou par système de désignation.

« L'implantation de cochlée électronique proposée dans des situations de surdité en donne un exemple. Le système électronique implanté contourne l'oreille déficiente pour directement propager des signaux acoustiques vers les aires cérébrales dévolues au traitement des sons de parole. Il y a là un formidable espoir pour les familles et les enfants, mais simultanément plusieurs interrogations s'imposent pour poser une indication favorable au devenir communicatif et socio personnel de l'enfant. »

L'amélioration de l'appareillage autour de surdité a permis un changement d'axe de focalisation de la recherche vers le technologique. Ceci a conduit à l'essor de la technologie numérique appliquée et impactant la vie quotidienne des usagers. L'apparition des Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF) qui ont « pour vocation de rassembler les champs de recherche concernés par la conception et les usages d'environnements informatisés pour l'apprentissage » (Baron, Guin, et Trouche, 2007, p. 316) témoigne de l'intérêt de la communauté scientifique. Ce serait intéressant de se pencher sur le chemin que les STICEF ont fait pour arriver à ce point de maturité.

34 Hage, C., Charlier, B. et Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd: pistes d'évaluation*. Bruxelles : Editions Mardaga.

35 Wikipedia : https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9volution_num%C3%A9rique

En parallèle de ces avancements technologique, un phénomène plus « social » prend lieu. L'apparition et développement d'Internet dans les années 1990 donne aux sourds plus de portés dans la communication. Avoir accès à des groupes de discussion, forums et chats permet un réseautage jusque là existant qu'à des petites échelles. En revanche de la globalisation de la communication intra-communautaire, l'Internet permet aussi l'accès en ligne à des services que jusque là auraient nécessité l'interposition d'un tiers entendant. La personne sourde est donc autonome par rapport par exemple à des problématiques administratives qui sont maintenant détaillées et supportent la résolution en ligne.

D'un point de vue usage nous pouvons discerner 2 axes :

- des technologies de communication en temps réel : qui mettent en relation deux ou plusieurs interlocuteurs (ex. présentation, séminaire, formation, etc.) ;
- des technologies de stockage et rendu : sur tout format média.

1. Communication en temps réel

Si on ne prend pas en compte le télégraphe électrique et le téléphone, des technos qui n'apportent aucune valeur ajoutée aux utilisateurs sourds, la première « révolution technologique » a été apportée par le Minitel. Déjà dans les années '80 le Minitel proposait des fonctionnalités de dialogue écrit, ce qu'on appellerait maintenant du « chat ». Bien qu'un apport majeur pour la communauté sourde, malheureusement le Minitel était une technologie exclusivement française et incompatible avec le tout naissant Internet qui aurait rapidement une couverture mondiale.

Bien qu'avantageux deux facteurs forts étaient au détriment du Minitel : pour les échanges il fallait être connecté à un poste fixe et les cas d'usage tournaient surtout autour d'échanges long, des discussions. L'apparition vers les années '90 du Pager a ainsi rendu le Minitel presqu'inutile pour la majorité des usagers chat. Le fait de pouvoir emporter sur soi le pager a ouvert des nouvelles frontières en termes de mobilité pour les personnes sourdes. Non seulement on peut communiquer à distance avec des entendant ou sourds, mais on peut utiliser l'appareil pour échanger en direct avec une personne entendante mais ne connaissant pas le LSF. Ce double emploi a joué sur la tendance et impose le pager comme outil de communication « complet » utile à distance mais aussi sur place.

Toujours dans cette logique d'hyper-mobilité, le début des années 2000 voit la sortie du milieu pro et généralisation grand public des téléphones portables. La baisse du prix des appareils et l'amélioration de la couverture et fiabilité des réseaux mobiles ont fait qu'en 2013 au niveau mondial on retrouve en moyenne 97 abonnements pour 100 personnes, dans les pays développés cette moyenne arrivant à 120 suite à l'effet du multi-abonnement (ex. ligne pro et perso, plusieurs lignes perso, etc.).

La valeur ajoutée par les mobiles à la population sourde a été même plus importante. Au début des années 2000 la fonctionnalité la plus importante était le SMS, usage iso par rapport aux pagers. Le support d'un transit de type données par les antennes téléphoniques (protocole EDGE en 2013, 1G, 2G, 3G et maintenant 4G) a aussi ouvert la porte à la visio-conférence (milieu pro) et aux webcams. Non seulement on peut s'écrire en temps réel, mais les interlocuteurs se voient et entendent ce qui ouvre enfin la porte aux échanges en LSF via les téléphones portables.

Pour encore augmenter la possibilité des échanges entre non-entendants et entendants, des technologies comme le Kinect de Microsoft (caméras intelligentes permettant la détection des gestes des utilisateurs) permettent la traduction bidirectionnelle et en temps réel du LSF vers du langage naturel. En général les fonctionnalités offertes par de telles solutions sont :

- Traduction d'un mot : un geste vers un mot écrit et rendu par une voix robotique. Précision très élevée ;
- Traduction de phrase : plus complexe car le sens de la traduction est souvent donné par le contexte. Le cas échéant, l'utilisateur se voit proposer plusieurs variantes, il saura choisir la bonne en fonction du contexte ;
- Communication : pour 2 interlocuteurs sourd/entendant ou sourd/sourd mais n'utilisant pas le même langage des signes. Cinématique : les émetteurs font des signes ou parlent et la technologie retranscrit en voix robotique ou signes pour les récepteurs.

2. Stockage et rendu

Les besoins d'une personne sourde par rapport au stockage et au rendu de l'information sont les mêmes, la différence se fait au niveau des cas d'usage. Le simple message lors d'un appel non répondu est impossible pour une personne sourde. « L'apparition de la transmission de documents par télécopie, d'abord nommée téléfax, puis fax, qui nous paraît aujourd'hui représenter le dinosaure de la communication à distance, a été, et est encore pour certains Sourds, un moyen de communication à distance très utilisé dans la communauté ». Il s'agit aussi d'un moyen très efficace de communication en temps différé qui en plus offre l'assurance de l'identité de la source car le numéro de l'expéditeur est rappelé.

Le vrai déclic pour le stockage est quand même arrivé avec la vidéo analogique (ex. VHS) qui permettra d'avoir du multimédia : image et son, les deux éléments incontournables pour reproduire avec 100% précision des messages en langue des signes. Non seulement c'est beaucoup plus rapide que l'écriture ou le fax, mais la capacité et durée de stockage sont beaucoup plus importantes. Les personnes sourdes peuvent donc laisser des souvenirs en LSF, des messages voués à la postérité et qui capte et rend

l'image exacte de la personne, avec ses spécificités, difficultés et notamment son handicap. Le fait d'enfin pouvoir s'exprimer en LSF et de disséminer l'information renforce les échanges intra-communautaires et permet la capitalisation de la culture purement « sourde ».

La généralisation et simplification des technologies de stockage a aussi simplifié les échanges entre la population sourde et malentendante et les organismes d'administration. Internet propose une multitude de services qui facilitent considérablement le quotidien, et surtout qui permettent à la personne sourde de ne plus dépendre systématiquement d'un tiers pour certaines démarches administratives, la plupart des documents étant téléchargeables.

B. L'enfant-élève sourd et les nouvelles technologies

Les nouvelles technologies ont ouvert la voie à des outils numériques qui fascinent les enfants en général et, en particulier, les enfants sourds. La plupart de ces outils numériques utilisent principalement des informations visuelles, en conséquence, ils s'appuient sur les capacités visuelles des personnes sourdes et malentendantes et sont adaptés à leurs besoins. Ces outils sont intuitifs, prévisibles, familiers et sécurisants pour les enfants déficients auditifs. En parallèle de l'essor de ces nouveaux outils, l'Internet offre aussi de plus en plus de services aux personnes sourdes et malentendantes. Par exemple, pour toute démarche administrative, la plupart des documents sont téléchargeable. En plus pour certaines des démarches tous les échanges avec l'administration se passent via messagerie et en temps différé. En conséquence, la personne déficiente auditive n'a plus besoin d'une autre personne pour faire interface, elle devient autonome.

1. Apprendre et Jouer : méthodes

Les chercheurs se sont beaucoup intéressés à la relation existant entre le jeu et l'apprentissage. Par ailleurs, les recherches actuelles ont montré la valeur éducative du jeu et aussi que l'apprentissage par jeu a mené à des résultats plus impactants qu'avec une méthode traditionnelle. Plus précisément, dans nos jours, le jeu éducatif est perçu comme jouet d'éveil pour les jeunes. D'ailleurs, beaucoup de recherches ont aussi pointé que l'apprentissage par jeu apporte à l'intellect plus de flexibilité, plus de souplesse et par conséquent, les jeunes développent plus facilement des stratégies d'apprentissage. En plus, il a été aussi démontré que le cerveau acquiert plus de plasticité, plus de raisonnement et que le processus d'apprentissage est facilité.

Nous allons continuer ce sous-chapitre avec la définition classique des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain): « EIAH est un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction des connaissances chez un apprenant » (Tchounikine, 2004,

p. 1). D'ailleurs, EIAH est un champ pluridisciplinaire qui regroupe plusieurs disciplines comme l'informatique, la psychologie, les sciences de l'éducation ou les sciences de l'information et de la communication. La conception des EIAH[36] permet de mettre en place des supports d'apprentissage personnalisables et surtout de les expérimenter, les raffiner et les faire évoluer. Le but de ces supports est de faciliter le suivi des actions des apprenants et de permettre la personnalisation de l'expérience d'apprentissage par rapport au niveau et à l'évolution des sujets.

Dans la vision des EIAHs, il existe une relation triangulaire entre 3 acteurs importants : l'apprenant, la machine et l'enseignant. Il s'agit d'un partenariat personne-machine dans un contexte d'apprentissage.[37] Un exemple concret d'interaction homme-machine est celui d'un clavier virtuel multimodal. Précisément, les recherches de Mazeau, Krahe et Cesarano (2010) portent justement sur ce type de clavier virtuel et ses applications à des situations de handicap.[38]

Avant de continuer notre présentation, il nous semble important de spécifier que dans le contexte de l'éducation et formation, il y a aussi les TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement). Selon Tricot (2007), les TICE « désignent un vaste ensemble de logiciels, d'applications et plus généralement de technologies, dont font parties les technologies éducatives » (Tricot, 2007, p. 35).

En conséquence, dans le domaine des EIAH, des environnements d'aide à l'apprentissage ont été créés, comme des didacticiels ou des logiciels ludo-éducatifs. La classification de ces logiciels ludo-éducatifs est riche et complexe. Par exemple, nous avons des logiciels de simulation ou des environnements de réalité virtuelle, des plateformes d'apprentissage à distance, des documents numériques, des tuteurs intelligents, des projets pédagogiques, des applications professionnelles (Tricot, 2007). Nous reviendrons dans les chapitres suivants pour présenter et détailler la classification des logiciels ludo-éducatifs.

Dans la conception des EIAHs, il existe plusieurs théories d'apprentissage ou modèles de l'apprentissage multimédia. Nous avons des théories spécifiques comme, par exemple, la théorie de la cognition située (Clancey, 1997), la théorie de la cognition distribuée (Holland et al, 2000), la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998) ou les

36 EIAH : Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

37 Garbay, C. et Kayser, D. (2011). *Informatique et sciences cognitives: Influences ou confluence.* Paris : Editions Oprhys.

38 Pour plus d'amples informations, consultez: Mazeau, J. P., Krahe, J. L. et Cesarano, C. (2004). Clavier virtuel multimodal: applications à des situations de handicap. J3eA (Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes), 3(HORS SÉRIE 1), 24.

réinterprétations de la théorie de l'Activité dans le cadre des travaux sur collaboration (Engeström, 1987) ou théories générales comme la théorie de l'Activité.[39]

Nous avons aussi plusieurs modèles de l'apprentissage multimédia comme la théorie de double codage, la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, le modèle intégratif de Schnotz.

En prenant en compte les objectifs de notre recherche, nous nous sommes penchés plutôt sur la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2005). Cette théorie générale de l'apprentissage porte sur les ressources cognitives mise en jeu pour la résolution des problèmes (Jamet, 2008). Il nous semble important de préciser que cette théorie est basée sur celle de la mémoire à long terme de Ericsson et Kintsch (1995) et celle de Baddeley (1986) sur l'architecture de la mémoire de travail.

Plus précisément, cette théorie présume/postule que nous devons prendre en compte les connaissances actuelles des apprenants avant de construire des scenarios d'apprentissage. Plus précisément, si l'apprenant a des connaissances faibles, nous devons réduire la charge cognitive. Par exemple, nous devons utiliser des illustrations pour faire comprendre à l'apprenant, des explications supplémentaires. A l'opposé, si l'apprenant a des bonnes connaissances dans le domaine, nous devons augmenter la charge cognitive.[40]

Dans la littérature de spécialité, les chercheurs ont délimité 3 sources de la charge cognitive : une charge intrinsèque liée à la difficulté de la tâche (des fois, nous avons plusieurs éléments qui sont traité en même temps dans la mémoire de travail), une charge inutile liée aux formats de présentation (par exemple, dans le cas d'un texte et d'une illustration, le lien entre les 2 éléments n'est pas évident si nous n'avons pas une légende) et une charge pertinente liée entre les autres processus d'élaboration et de structuration des connaissances (les efforts déposés pour l'apprentissage).

Pour conclure, nous pouvons affirmer que cette théorie fait la liaison entre les aspects du traitement cognitif et la mise en forme matérielle du document.[41]

2. Outil et jouet : la tablette tactile

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux travaux qui portent sur les aides technologiques, plus précisément aux recherches sur le numérique et sur les tablettes tactiles.

39 Jamet, E. (2008). *La compréhension des documents multimédias: de la cognition à la conception.* Paris : Groupe de Boeck.

40 Garbay, C. et Kayser, D. (2011). *Informatique et sciences cognitives: Influences ou confluence.* Paris : Editions Oprhys.

41 Idées dans l'ouvrage de Kasbi (2012) : Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une révolution*. Belgique : Edipro.

Nous commençons notre chapitre avec la notion d'outil ou d'instrument. Pour mieux expliquer ce concept, nous allons citer les travaux sur la genèse instrumentale (Rabardel et Pastré, 2005) qui constitue l'exemple parfait de la conception pour les activités instrumentées. Le concept d'instrument est défini comme « un médiateur entre le sujet et l'objet, un médiateur amène à considérer que c'est l'auteur qui s'instrumente, en utilisant les moyens qui lui semblent les plus adaptés, sous la forme qui lui convient le mieux, et dans le contexte de son activité » (Rabardel et Pastré, 2005 cité par Garbay et Kayser, 2011).

D'après Rabardel (2005), il y a une délimitation entre l'instrument et l'artefact. Par ailleurs, l'artefact (ou l'objet technologique) est un instrument qui donne accès à l'utilisateur à accomplir ses tâches. L'accent se pose donc sur l'utilisateur qui confère le statut d'instrument à l'artefact. D'un autre côté, l'instrument est construit à partir d'artefacts mais aussi de l'utilisateur qui assigne des fonctions dans le contexte de son activité.[42]

2.1. Les aides technologiques à l'apprentissage

En revenant sur les aides technologiques, nous pouvons affirmer que celles-ci représentent un enjeu important dans l'accompagnement des personnes qui se trouvent en difficulté d'apprentissage. Leurs rôles sont l'aide et l'assistance de la personne handicapée dans le but de réduire l'impact de l'handicap sur différents plans de sa vie.

Ces aides technologiques apportent beaucoup d'avantages au processus d'apprentissage. Plus précisément, plusieurs recherches ont montré qu'elles répondent à un besoin précis, indispensable pour la tâche et qu'elles favorisent le développement des compétences et peuvent contribuer à la réussite scolaire, qu'elles donnent de l'autonomie à l'apprenant et le rendent plus actif dans sa participation. En plus, elles permettent d'accomplir des tâches scolaires et résoudre des problèmes d'apprentissage en général, permettent de développer le plein potentiel de l'apprenant et de répondre aux différents types d'intelligence. Finalement les aides technologiques favorisent l'intégration scolaire et l'insertion sociale de l'apprenant.

L'aide technologique peut être un logiciel qui assiste les personnes à la réalisation des tâches et à l'apprentissage. Par ailleurs, dans les catégories des aides technologiques d'apprentissage, nous retrouvons des aides pour l'adaptation d'apprentissage (scolaire) ainsi que des aides pour le développement des compétences (professionnelle).

Dans le cas des personnes en situation de handicap, les aides techniques ont le rôle de compenser une incapacité ou de supporter les difficultés produites par le handicap. Plus

42 Garbay, C. et Kayser, D. (2011). *Informatique et sciences cognitives: Influences ou confluence*. Paris : Editions Oprhys.

précisément, le but est d'améliorer les capacités de la personne handicapée dans le sens de réduire le handicap. L'aide technologique doit être perçue comme une stratégie et une approche compensatoire qui pourrait aider les personnes avec des difficultés d'apprentissage à obtenir des meilleurs résultats et mieux réussir dans leurs tâches. Nous pouvons donner l'exemple des recherches de Réne Pry (2015) qui a montré l'influence positive des tablettes numériques dans l'apprentissage de la lecture chez les enfants avec trouble du spectre de l'autisme.

Par ailleurs, les aides technologiques pour les apprenants handicapés sont des logiciels qui les assistent dans l'exécution des certains tâches et qui sont adaptés aux besoins spécifiques de la personne handicapée.

Dans l'ouvrage de Ngouem (2015), nous retrouvons une classification des aides technologiques pour les personnes handicapées. Selon Ngouem (2015), nous avons une catégorie d'aides à l'accessibilité et une autre catégorie d'aides de suppléance à la communication. La première catégorie concerne les supports pédagogiques qui ont été créés et adaptés aux besoins particuliers de la personne handicapée dans le but de développer ses compétences. La deuxième catégorie est constituée d'outils ou de logiciels qui ont pour but de développer la communication orale des personnes en situation d'handicap. Des exemples seraient les logiciels d'édition de texte assistée par la synthèse vocale.

Il nous semble important de préciser que, de nos jours, les nouveaux modèles d'apprentissage intègrent les nouvelles technologies dans leur conception. L'explication serait qu'un aide technologique peut créer de la valeur ajoutée dans le cas des personnes qui ont des difficultés d'apprentissage.[43]

2.2. Utilité, utilisabilité et acceptabilité des outils

Il nous semble important de préciser que les caractéristiques d'un bon outil pédagogique ou éducatif sont : l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité.

D'ailleurs, il existe des recherches (Davis, Bagozzi et Warshaw, 1989) sur ces caractéristiques chez les utilisateurs en général. D'une autre côte, il existe des travaux (Moran, Hawkes et El-Gayar, 2010) qui portent sur les personnes en situation d'apprentissage.

Dans la littérature de spécialité (Dillon et Gabbard, 1998), il a été aussi démontré que même les bons outils pédagogiques sont quelque fois inutilisables.

43 Ngouem, A. C. (2015). *Les nouvelles technologies dans l'enseignement et l'apprentissage: besoins, utilisations et rentabilités*. Academia-L'Harmattan.

Par ailleurs, l'utilité est définie comme la perception à apprendre à l'aide d'un outil pédagogique. Par exemple, nous pouvons apprendre plus facilement et plus rapidement, c'est à dire que nous avons atteint nos objectifs. Il est aussi important de relever le fait qu'il faut prendre en compte la mise en ouvre des éléments cognitifs.[44]

L'utilisabilité est définie comme « la facilité d'utilisation de l'outil pour l'apprenant, facilité pour apprendre à s'en servir, compréhension des erreurs d'utilisation » (Amandieu et Tricot, 2014, p. 11). Elle est en liaison avec les objectifs et avec le scenario pédagogique. Une approche très connue sur l'évaluation de l'utilisabilité este l'approche de Nielsen (1993).

Pour aller plus loin, dans la littérature de spécialité, l'acceptabilité est définie comme « la valeur de la représentation mentale (attitudes, opinions) à propos de ce document, de son utilité et de son utilisabilité » (Amandieu et Tricot, 2014, p. 11). Elle est influencée par des facteurs comme la culture et les valeurs des utilisateurs, leurs émotions et leur motivation, etc.[45]

2.3. Le virtuel numérique et l'intelligence face aux écrans

Des études ont montré que les nouvelles technologies ont une influence positive sur le développement cognitif de la personne. Plus précisément, plusieurs recherches ont montré que le numérique virtuel encourage la mémoire de travail et favorise la pensée par analogies et contiguïtés, avec un support spatial.

Si on prend l'exemple des jeux vidéo d'action ; ces jeux ont eu une influence signifiante positive sur les capacités d'attention visuelle des adolescents. Plus précisément, une amélioration sur « l'identification des cibles, flexibilité, attention simultanée à plusieurs choses – jusqu'à une capacité généralisable d'inférence probabiliste » (Bach, Houdé, Léna et Tisseron, 2013, p. 94). Cependant, ces jeux vidéos pourraient s'accompagner d'une « pensée trop rapide, superficielle et excessivement fluide : la culture du zapping » (Bach, Houdé, Léna et Tisseron, 2013, p. 94).

Plusieurs études ont montré que le cerveau intègre les outils numériques dans ses circuits neuro-culturels et que les formes d'intelligence intuitive et spatiale sont les plus valorisées dans les relations avec les écrans.

Plusieurs recherches (Bach, Houdé, Léna et Tisseron, 2013 ; Edmunds, Thorpe et Conole, 2012) ont montré que le numérique accroît les motivations, surtout la motivation intrinsèque qui est la plus efficace. La motivation intrinsèque est « caractérisée par la

44 Ngouem, A. C. (2015). *Les nouvelles technologies dans l'enseignement et l'apprentissage: besoins, utilisations et rentabilités*. Academia-L'Harmattan.

45 Amadieu, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique: mythes et réalités*. Paris : Retz.

poursuite d'un but de maitrise du domaine et de plaisir » (Deci, Vallerand, Pelletier et Ryan, 1991 cité par Amadieu et Tricot, 2014, p. 9). Dans ce cas, nous pouvons noter l'adaptabilité de l'outil (en fonction du niveau de chaque élève) et aussi, nous avons accès facilement à l'activité de l'élève. Par conséquent, l'élève n'est pas jugé et l'erreur n'est pas condamnée. Un outil bien adapté est en mesure de nous présenter 4 points essentiels : les connaissances au départ, les progrès des compétences, les stratégies utilisées pour la résolution des tâches et l'importance du recours aux pairs et aux bases des données pour y parvenir et utiliser ces informations dans l'intérêt de l'élève.[46]

A l'aide du numérique, nous pouvons renforcer les comportements d'apprentissage, de stimuler les diverses formes d'intelligence et de solliciter la curiosité enfantine.

2.4. Les tablettes tactiles et l'intelligence face aux écrans

Toute stimulation et tout échange sont susceptibles de modifier nos configurations neuronales. La capacité d'adaptation du cerveau s'appelle la plasticité cérébrale. Elle est définie comme une capacité de « recyclage neuronal » (Dehaene, 2007). Il nous semble important d'exercer l'intelligence fluide et rapide de la personne et aussi d'améliorer les fonctions exécutives du cerveau comme la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et l'inhibition.[47]

Par exemple, l'interface tactile de la tablette permet un geste de balayage, technique qui s'appelle « floating touch ». Il nous semble important de préciser que ce geste de balayage apparait avant le geste de pointage de l'enfant.

Les travaux actuels (McCabe, 2011; Morris et *al.,* 2012) ont indiqué des attitudes positives des élèves mais aussi des enseignants envers les tablettes tactiles. En plus, il a été démontré qu'elles ont une influence positive sur le processus d'apprentissage.

Nous pouvons aussi citer une recherche récente de Campigotto, McEwen et Demmans Epp (2013). Ils ont construit une application d'apprentissage du vocabulaire sur tablette tactile. Les résultats ont pointé qu'après 3 mois d'utilisation, cette application a augmenté l'intérêt des élèves et aussi des élèves porteurs d'handicap. L'application a aussi été très bien reçue par les enseignants. Comme indiqué plus haut, le caractère intuitif et tactile de la tablette a permis aux élèves de prendre confiance en eux dans leur l'utilisation.

Ferrer, Belvis et Pamies (2011) ont réalisé une recherche sur les élèves des 10-11 ans. Leur objectif était de voir quels sont les effets des tablettes numériques sur le processus

46 Serge Tisseron, Jeux vidéo et Serious Game

47 Amadieu, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique: mythes et réalités*. Paris : Retz.

d'apprentissage. Leurs résultats ont montré que les tablettes numériques donnent des chances égales à tous les élèves et qu'elles permettent de réduire les inégalités entre élèves. Par conséquent, les élèves qui ont des difficultés d'apprentissage ont eu des améliorations significatives au niveau scolaire.

Les travaux de Sung et Mayer (2013) portent sur 2 méthodes pédagogiques présentées sur 2 supports différents : l'un était sur iPad et l'autre sur iMac (ordinateur fixe). Leur idée était de comparer ces 2 méthodes et de trouver quelle est la préférence des élèves et aussi si les performances des apprenants sont influencées par les 2 dispositifs électroniques. Les résultats ont indiqué que la plupart des élèves préfèrent la tablette numérique et que le dispositif n'influence pas les performances sur le processus d'apprentissage.

D'ailleurs, beaucoup d'études (Girard et coll., 2013 ; Sitzmann, 2011 ; Vogel et *al*., 2006) ont pointé qu'on apprend mieux en jouant grâce au numérique. Le numérique a permis le développement de logiciels à des fins pédagogiques qui incluent un aspect ludique ou de jeux vidéo exploités en seconde intention à des fins d'apprentissage.

Par exemple, Sitzmann (2011) s'est intéressé aux jeux sérieux de simulation, surtout par rapport aux avantages qu'ils peuvent apporter. Son but était de comparer 2 groupes : un groupe qui a utilisé les jeux sérieux pour apprendre des nouveaux concepts et un autre groupe qui a utilisé les méthodes classiques afin d'apprendre des nouvelles notions. Par conséquent, les résultats ont relevé que les élèves qui ont appris les notions à l'aide des jeux sérieux, ont retenu 11 % en plus sur les concepts et 14% en plus quand les connaissances apprises sont des savoir-faire comparativement au groupe qui apprenait sans jouer. Il a aussi observé qu'au fur à mesure, l'avantage des jeux sérieux devient moins important mais reste significatif (9%). Malgré ces résultats encourageants, Sitzmann a relevé que ces données changent quand le groupe de contrôle (ceux qui ont utilisé les méthodes traditionnelles) est en situation d'apprentissage actif.

Une autre recherche intéressante est celle de Wouters et al. (2013). Cette étude est une méta-analyse sur les effets cognitifs et motivationnels des jeux sérieux. Les résultats ont dévoilé des effets positifs sur l'apprentissage long terme (une à cinq semaines après) et aussi sur l'apprentissage à court terme (immédiatement après l'apprentissage).

Plusieurs travaux (Azevedo et coll., 2010 ; Valentin et *al*., 2013 ;) ont essayé de montrer que le numérique favorise l'autonomie des apprenants. Par conséquence, les apprenants peuvent déterminer leurs buts, choisir leurs parcours, leur progression et réguler leur apprentissage grâce aux nombreuses possibilités apportées par les différents logiciels. Les recherches menées sur cette question, se centrent sur ce qu'on appelle l'apprentissage autorégulé. Dans le cas de l'apprentissage autorégulé, l'apprenant va prendre des décisions sur ses activités d'apprentissage et modifier celles-ci en fonction de différentes facteurs. Par conséquence, l'apprentissage autorégulé est un

apprentissage actif et constructif dans lequel les apprenants organisent leurs buts d'apprentissage et tentent de superviser, de réguler et de contrôler leur cognition, leur motivation et leur comportement en fonction de leurs buts et des caractéristiques du contexte.

Pour être autonome, un apprenant doit faire appel à différentes compétences et stratégies. Zimmerman (1990) parle de stratégies motivationnelles, métacognitives et cognitives. Les stratégies métacognitives reposent sur les connaissances et sur les compétences que les apprenants utilisent pour les tâches d'apprentissages, sur un domaine, sur le propre fonctionnement de l'apprenant. Les métacognitions permettent aux apprenants de s'organiser, d'établir leurs propres buts d'apprentissage et s'auto-évaluer et de s'adapter en régulant leurs comportements. Les stratégies cognitives couvrent des stratégies peu élaborées (comme la relecture) jusqu'à des stratégies de haut niveau qui prédisent un meilleur ancrage en mémoire des connaissances.

En conclusion, l'utilisation pédagogique d'outils et de ressources numériques peut se faire en tenant compte des compétences des apprenants ciblés afin d'adapter le niveau d'exigence d'autonomie à ceux-ci en réduisant ces exigences d'autonomie dans le cadre d'un accompagnement structurant et régulateur avec des outils adaptés.

De nombreux chercheurs ont essayé de trouver si le numérique permet un apprentissage plus actif.

Plusieurs recherches actuelles (Grant et Dweck, 2003), ont montré que le numérique augment l'engagement et la motivation des apprenants. D'autres études (Larsen, Butler et Roediger, 2013) ont indiqué que le numérique virtuel stimule les apprenants à se poser des questions et a trouvé des explications aux questions posées. Autrement dit, le numérique encourage la personne en situation d'apprentissage à utiliser des stratégies métacognitives.

D'autres travaux récents ont pointé que les vidéos et informations dynamiques favorisent le processus d'apprentissage. Par ailleurs, les technologies numériques offrent un éventail de formats d'information assez large et permettent une diffusion d'informations dynamiques qui ne pourraient pas être présentées avec des supports statiques classiques (papier, photo, etc.). Plus précisément, les formats dynamiques incarnés par les vidéos et les animations dans les apprentissages multimédia facilitent la compréhension du système dynamique étudié. Autrement dit, elles compensent certaines limites de notre système cognitif qui doit simuler des mouvements ou des processus dynamiques à partir des informations statiques.

D'autres études (Boucheix et Schneider, 2009) ont signalé que les habilités spatiales et de raisonnement mécanique peuvent s'améliorer avec des animations. Les recherches

vont plus loin et il a été démontré que les animations pouvaient compenser un déficit d'habilité spatiale (Höffler et Leutner, 2011; Münzer, Seufert et Brünken, 2009).

Nous pouvons citer une autre étude, celle de Lowe et Boucheix (2011) qui cherchait à savoir si l'apprentissage à partir d'une animation implique différentes activités mentales. Concrètement, ils ont obtenu des résultats qui montrent que les apprenants se concentrent surtout sur les informations dynamiques. Dans le cas où il y a plusieurs informations, l'apprenant choisit l'information qui semble pertinente pour lui. En même temps, il peut créer des liaisons ou des associations entre les différentes informations.

Les recherches actuelles ont montré que le numérique permet de s'adapter aux besoins particuliers des apprenants. Nous allons développer cette idée dans la troisième partie du chapitre.

Un autre « mythe » du numérique est que les élèves savent utiliser efficacement le numérique car c'est leur génération : digital natives ou les natives numériques. Cette idée est développée par John Perry Barlow, Mark Prenski (2001). Selon Bennett et coll. (2008), cette idée n'est pas valide. D'après eux, caractériser un effet de génération relève plus de la « panique morale » des intellectuels de la génération précédente, qui se sentent dépassés.[48]

3. Leçon et jeu : les logiciels ludo-éducatifs

« Le jeu, c'est tout ce qu'on fait sans y être obligé » Mark Twain	*« Il faut jouer pour devenir sérieux »* Aristote
« Le jeu c'est le travail de l'enfant, c'est son métier, c'est sa vie » Pauline Kergomard	*« Le jeu devrait être considéré comme activité la plus sérieuse des enfants »* Montaigne

48 Tricot, A. (2007). *Apprentissages et documents numériques.* Paris : Belin.

3.1. Serious Games : tentatives de définitions

Contrairement à l'idée que les serious games se sont développés récemment, nous pouvons affirmer que ces jeux sérieux ont leurs origines dans les années '50 aux Etats-Unis, spécifiquement dans l'armée américaine. Par exemple, l'un des premiers jeux sérieux très populaire à l'époque a été The Oregon Trail créé en 1971. Le concept de Serious Games a été mentionné aussi en Italie au XVème siècle comme « Serio Ludere ».

De nos jours, l'intérêt pour les jeux sérieux est de plus en plus croissant et ils sont en plein essor. L'explication serait que le contexte technologique est favorable en ce moment au développement des jeux sérieux.

Dans le contexte actuel, il serait difficile de donner une définition précise aux jeux sérieux parce que ces serious games se développent de plus en plus dans des diverses domaines.

Une définition générale du jeu sérieux est « un jeu vidéo qui fait passer un message sérieux, éducatif, social, caritatif, publicitaire, journalistique, politique, religieux,… » ou « une application informatique mêlant un objectif sérieux (entrainement, apprentissage, enseignement….) avec des éléments ludiques provenant du jeu vidéo ou de la simulation informatique ». (Kasbi, 2012, p. 24). Selon Tricot et Amandieu, les serious games « sont généralement développés dans le but d'amener une dimension ludique et amusante à l'apprentissage, rendant l'activité d'apprentissage plus acceptable par l'apprenant (Amandieu et Tricot, 2014, p. 10).[49]

Beaucoup de travaux (European Schoolnet, 2009) ont pointé que le but « des jeux vidéo n'est pas « forcement unique ludique ». Par exemple, la recherche d'European Schoolnet a compté des enfants du primaire au secondaire, au travers de 500 élèves. Ils ont partagé les élèves en 2 groupes : les élèves qui allaient jouer et un groupe de contrôle qui n'allait pas avoir contact avec le jeu. La tâche des enfants était de jouer de 20 à 25 minutes par jour, 5 jours par semaine (du lundi au vendredi). Les résultats généraux ont montré que les élèves qui ont joué avaient une motivation croissante et une plus grande compréhension et aussi une expérience en extrascolaire (offrir une aide aux élèves en difficulté scolaire).

Par conséquence, dans la littérature de spécialité, les jeux sérieux sont définis comme « jeux électroniques qui ont des visées éducatives ». L'idée principale de ces jeux est que les personnes peuvent apprendre en s'amusant. Nous pouvons citer quelques exemples

49 Amadieu, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique: mythes et réalités*. Retz.

des serious games comme les jeux de sociétés, les jeux de calcul mental, de vocabulaire, etc. qui ont des fins pédagogiques.[50]

3.2. Classification

Une seule classification pour les serious games a été difficile à réaliser. Nous avons donc trouvé dans la littérature de spécialité plusieurs classifications.

D'après Lavergne-Boudier et Dambach, (2010), il y a :

1. les simulateurs (jeux qui simulent la réalité ; leur but est de mettre les personnes dans des situations similaires avec celles de la vie quotidienne)
2. les jeux éducatifs ou les Edugames (l'objectif étant de donner à l'apprentissage un côté ludique)
3. les advergames ou les jeux vidéos publicitaires (le but étant de faire de la publicité et de promouvoir l'image d'une marque).[51]

Nous avons retrouvé aussi dans la littérature de spécialité une classification plus détaillée dans l'ouvrage de Yasmine Kasbi (2012). Selon Kasbi (2012), il y a plusieurs catégories :

1. Advergames (ou Propagaming, Adgame ou Gamevertising ; exemples : Forestia, Pearljamgame, A new beginning, etc.). Par exemple, Forestia est un jeu de simulation et de stratégie, A new beginning est un jeu d'aventure.
2. Antiwargames (on les retrouve dans la catégorie Advergames ; ces jeux ont le but est révéler les conflits internationaux et de montrer que la violence est inutile ; exemple des jeux : The Peoples, Madrid, September 12th, etc.)
3. Bussinesgames (ou jeu d'entreprise ; exemples : The Small Business Games, Event Manager, Hair Be 12, etc.). The small bussines games a pour objectif d'apprendre à gérer une petite entreprise.
4. Causeplay (jouer pour une cause ; exemple : Hospitopia). Le but de Hospitopia était de collecter de l'argent pour les enfants qui se trouvent à l'hôpital.
5. Edugames (Edutainment ou Learning Games)
6. Edumarketgames (les objectifs de ce jeu sont éducatifs et commerciaux comme par exemple: Blossom flowers, Master Brasseur, etc.). Dans le cas de Blossom Flowers, la personne s'occupe d'une plantation des fleurs, l'objectif étant de développer ses compétences relationnelles avec les clients.
7. Exergames : sont définis comme des « jeux d'entraînement ayant pour but de s'exercer physiquement ou cognitivement » (Kasbi, 2012, p. 54). Exemple :

50 Pour plus d'amples informations, consultez l'ouvrage : Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une révolution*. Edipro.

51 Boissière, J., Fau, S. et Pedró, F. (2013). *Le numérique: une chance pour l'école*. Paris : Armand Colin.

R.O.G.E.R. est un outil de diagnostique utilisé par les thérapeutes qui utilisent la technologie Kinect.

8. Green Games (les jeux à but écologique ; exemple: Escouade O.C.E.A.N., Transportation Town). Par exemple, dans le cas d'Escouade O.C.E.A.N., le but était de montrer le monde sous-marin et les écosystèmes menacés.
9. Healthcare Games (les jeux dans les domaines de la santé ; représentent l'une des catégories le plus répandues). Exemple : Pharmatopia, Second Life. Dans le cas de Pharmatopia, l'apprenant doit suivre des cours de pharmacie.
10. Newsgames (le but est d'informer par jeu). Exemples : On the Grand Reporter, Voyage au bout du charbon. Dans le cas de On The Grand Reporter, l'objectif était de rédiger un article sur les évènements qui se déroulent dans une région spécifique.
11. Political Games (les jeux ayant une tendance politique. Exemples : Cyber-Budget, Primaires à gauche en France). Dans le cas de Cyber-Budget, le but était de sensibiliser par rapport aux questions budgétaires.
12. Social Games (les jeux sur les réseaux sociaux ; exemples : sur Facebook – FarmVille, City Ville- ; Questions pour un Champion).[52]

Nous nous sommes donc particulièrement intéressés à la catégorie des jeux éducatifs ou edugames. Je vous rappelle que l'objectif de notre recherche était de construire un jeu éducatif adapté aux besoins spécifiques des élèves sourds et malentendant.

Les jeux éducatifs ou pédagogiques ont l'objectif de « transmettre un savoir, une connaissance ou une matière » (Kasbi, 2012, p. 47). Nous pouvons citer quelques exemples : Affaire à suivre, Les mystères de Londres, Le secret de l'Alchimiste (une trilogie), Des Fantômes au Musée, Thélème, Super Kimi et « Technix, la machine à remonter le temps ». Des fois, les jeunes doivent résoudre des énigmes (comme dans les jeux Affaire à suivre, Les mystères de Londres, Le secret de l'Alchimiste). Dans certains cas, la tâche était d'apprendre le français (comme dans le jeu Thélème), d'apprendre l'histoire du pays (comme dans l'exemple Des Fantômes au Musée), d'apprendre la chimie en s'amusant (Super Kimmy) ou de faire découvrir aux jeunes l'histoire de la technologie et aussi leurs inventeurs (Technix).

3.3. Réaliser un jeu sérieux

Les retours d'expérience de différents ouvrages convergent sur un même point : réaliser un jeu sérieux n'est pas facile. La conception d'un jeu sérieux porte que l'intégration d'un scenario pédagogique avec un jeu vidéo. L'idéal est donc de trouver un équilibre entre les aspects ludiques et pédagogiques.

52 Pour plus d'amples informations, consultez l'ouvrage : Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une révolution*. Edipro.

MISA (Méthode d'ingénierie des Systèmes d'Apprentissage) est une méthode utilisée dans la réalisation de jeux sérieux, méthode qui a été créé par Gilbert Paquette en 1997. Elle porte sur les principes des sciences cognitives appliquées dans le domaine du design pédagogique. D'après Gilbert Paquette, pour construire un jeu sérieux, il est nécessaire de suivre 3 étapes importantes : le modèle de connaissances (quels sont les objectifs de l'apprentissage), le modèle pédagogique (il faut bien spécifier les scénarios d'apprentissage) et le modèle médiatique (il faut bien délimiter le matériel pédagogique et les infrastructures technologiques qui accompagneront le processus d'apprentissage). En fait, cette méthode porte sur la répartition des tâches entres les différentes spécialistes de chaque domaine. Par conséquent, le travail en parallèle et en accord sur le produit final est essentiel. Nous avons pris en considération les postulats de cette méthode avant de créer notre jeu sérieux.

3.4. Les performances du jeu sérieux

Vu le succès des serious games, les chercheurs se sont posés beaucoup de questions sur leur efficacité. Par ailleurs, il existe plusieurs recherches (Koster, 2005 ; Houdé, 2013) qui portent sur les influences des jeux sérieux et sur leur efficacité.

La théorie du Fun de Ralph Koster (2005) a été citée et elle peut expliquer le succès du jeu sérieux. Son idée de base est dérivée de la psychologie cognitive et de la psychologie évolutionniste. Cette théorie présume que notre cerveau réfléchit en permanence à l'aide des « fiches mémoire » ou « des patterns » dans toutes les situations mais notamment dans des situations-problèmes. Plus précisément, ces « patterns » ou ces « motifs récurrents » permettent de trouver vite des solutions appropriées pour la résolution des problèmes. Autrement dit, dans le cas du jeu, nous pouvons noter que gagner à un jeu consiste à trouver une stratégie gagnante et implique d'assimiler « les patterns » crées par les règles du jeu. En conclusion, selon Koster (2005), le fonctionnement du cerveau est pareil à celui du jeu.

Une autre théorie qui a montre l'efficacité du jeu sérieux a été celle d'Edgar Dale (1969) sur la « courbe d'apprentissage ». Edgar Dale s'est interrogé sur les différentes moyennes des personnes de retenir les informations. Par ailleurs, il a constaté qu'on retient 90% du contenu, 50% en vision/écoute et que 10% en lecture.

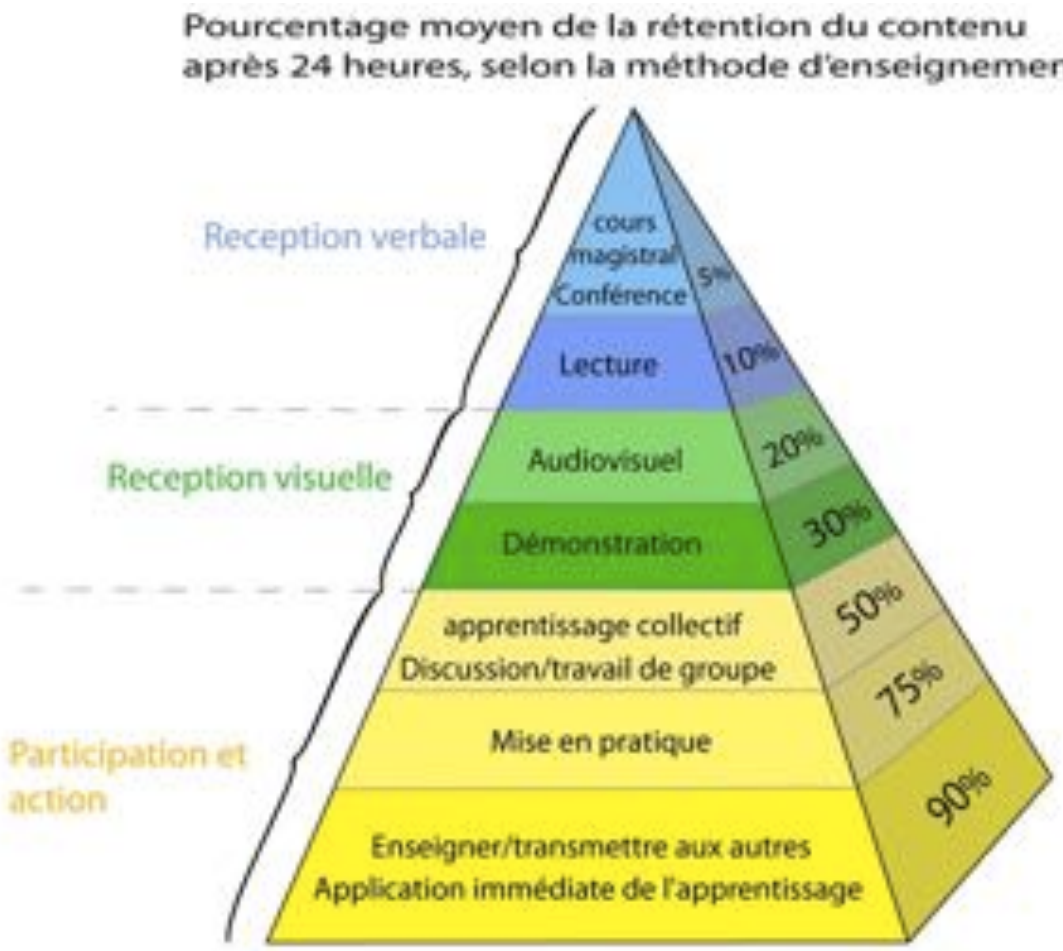


Figure 1. Cône d'apprentissage d'Edgar Dale[53]

En plus, plusieurs recherches (Houdé, 2013) ont pointé que le jeu a une influence positive sur la mémoire à long terme. D'après Olivier Houdé, « l'apprentissage suscite la mémoire de manière sporadique en délimitant l'information, ce que ne fait pas l'enseignement ». (Kasbi, 2012, p. 158).[54]

« Le fun est le plaisir éprouvé suite à la résolution mentale d'un défi »

Ralph Coster[55]

53 Image récupérée sur http://clioweb.canalblog.com/archives/2014/08/13/30404260.html

54 Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une révolution*. Edipro.

55 A Theory of Fun for Game Design

3.5. L'influence du jeu et des écrans sur notre cerveau

Actuellement, les écrans ont envahi notre monde. Par conséquent, les chercheurs se sont beaucoup intéressés par l'influence des écrans sur notre cerveau.

Par exemple, nous pouvons citer la recherche de Donnat (2010). Les résultats ont indiqué que les jeunes (entre 15-24 ans) passent beaucoup de temps devant les écrans (télévision, ordinateurs, tablettes numériques, smartphones). Plus précisément, ils passent en moyenne 16 heures par semaine devant la télévision et environ 21 heures devant les autres types d'écran.

Dans le même sens, nous citons une autre recherche (Sénat, 2009) qui a été menée en France et qui a démontré que les jeunes passent actuellement plus de temps devant les écran que à l'école. Plus précisément, le temps passé devant les écrans est de plus de 1500 heures par an et le temps passé à l'école est « entre un peu moins de 900 heures à environ 1200 heures dans le secondaire » (cité par Boissière, Fau et Pedró, 2013, p. 165).[56]

En même temps, comme le cerveau joue un rôle primordial dans l'intelligence humaine et comme, de nos jours, les serious games prennent une place importante dans notre enseignement, les chercheurs se sont intéressés sur l'influence du jeu sur le cerveau. Il a un développement complexe et contrôle toutes nos activités (exemples : parler, écouter, écrire, lire, bouger, etc.) et cherche « autour de lui à identifier des automatismes qu'il va pouvoir intégrer, c'est ce qu'on appelle les patterns » (Kasbi, 2012, p. 94).

De nombreux travaux de recherche ont montré les conséquences positives du jeu. Par exemple, il existe une recherche qui concerne un groupe d'adolescents qui ont beaucoup joué le jeu Tetris. Les résultats ont indiqué une évolution et un développement de la matière grise. Des études ont montré que le cerveau d'une personne s'atrophie au moment ou il s'arrête à créer des patterns. Il est essentiel que notre cerveau soit en permanence stimulé par des nouveaux modèles/patterns. Certaines études ont constaté que les nouveaux patterns stimulent notre cerveau et, en conséquence, la production de dopamine. La dopamine est un neurotransmetteur qui a le but de produire le plaisir et de rendre la personne euphorique.

Il est conseillé qu'un jeu éducatif ait des niveaux de difficulté croissante : du niveau débutant jusqu'au niveau expert. Il est aussi important que le jeu éducatif soit assez facile pour être réalisé mais, en même temps, assez difficile pour susciter l'intérêt de la personne. Dans la réalisation de notre jeu sérieux adapté aux élèves sourds et malentendants, nous avons essayé de prendre en compte ces consignes.

56 Boissière, J., Fau, S. et Pedró, F. (2013). *Le numérique: une chance pour l'école*. Paris : Armand Colin

Plus précisément, nous pouvons citer les travaux de Wouters, Nimwegen, van Ootendorp et Van der Spek (2013). Ils se sont intéressés surtout sur les effets des serious games sur les apprentissages. Ils ont remarqué des effets positifs des serious games sur les performances d'apprentissage comparativement à des situations plus traditionnelles. Par conséquent, ces situations donnent une liberté dans les prises de décision et augment la motivation de l'apprenant.

D'un autre coté, les chercheurs ont eu des inquiétudes et des préjugés concernant les jeux sérieux.

Par exemple, Serge Tisseron (2013) s'est intéressé au jeu excessif de l'enfant et il a fait la distinction entre le jeu pathologique (vise les enfants qui ont un trouble mental et qui dissimule une pathologie latente) et le jeu excessif (l'enfant néglige le sommeil et les autres activités et qui influence le domaine éducatif et les performances scolaires). D'après Tisseron, les usages excessifs se développent pendant la crise de l'adolescence. Concernant cette question d'addiction, son opinion est que les parents doivent discipliner leurs enfants.[57]

Pour conclure, l'idéal serait qu'un jeu sérieux soit un outil complémentaire à l'apprentissage.

C. Personnalisation de l'apprentissage : une adaptation pour individualiser le processus d'apprentissage

La personnalisation de l'apprentissage représente une problématique importante dans le domaine des EIAHs (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) et elle a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs. Par conséquent, il existe beaucoup de travaux (Jean-Daubias et *al*., 2009 ; Lefevre et *al*., 2011 ; Marty et Mille, 2009 ; Verpoorten et *al*., 2009) sur la personnalisation des activités d'apprentissage dans le domaine des EIAH.

L'objectif principal a été l'amélioration du processus d'apprentissage en tenir compte des particularités, des compétences et des connaissances actuelles de l'apprenant, surtout s'il s'agit des personnes qui ont des difficultés d'apprentissage ou des personnes en situation de handicap. Des autres objectifs de transmettre des compléments pédagogiques et de remédier certaines lacunes des apprenants.

D'après certains chercheurs (Marty et Mille, 2009), l'individualisation et la personnalisation des apprentissages a deux objectifs importants : l'adaptation des

57 Amadieu, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique: mythes et réalités*. Retz.

ressources pédagogiques à l'enseignement ainsi que l'adaptation à un apprenant ou un groupe d'apprenants avec les mêmes caractéristiques.[58]

Dans la littérature de spécialité, il existe une distinction entre le terme «d'individualisation » et « la personnalisation ». Le terme d'individualisation signifie « différencier par des caractères individuels » et la « personnalisation » qui signifie « de rendre personnel ».

Verpoorten et *al*., (2009) fait la délimitation entre un apprentissage individualisé et un apprentissage personnalisé. D'ailleurs, un apprentissage individualisé concerne plutôt les ressources pédagogiques qui sont adaptées à l'apprenant. Ensuite, dans le cas d'un apprentissage personnalisé, c'est la personne qui apprenne à choisir les ressources qui lui semblent pertinentes. Selon Verpoorten et *al*. (2009), l'adaptation à l'apprenant peut se faire dans le cadre d'un apprentissage individualisé mais aussi dans le cadre d'un apprentissage personnalisé.[59]

Dans le même domaine, nous pouvons aussi citer les travaux de Lefevre et *al.* (2011) qui portent sur la situation des enseignants souhaitant personnaliser l'apprentissage de leurs élèves.

Comme nous l'avons déjà précisé, la personnalisation de l'apprentissage s'est fait en fonction des connaissances, des spécificités et des profils d'apprentissage de la personne (Jean-Daubias, 2011 ; Mitrovic, 1998 ; Sørmo et *al*., 2002). Un profil d'apprentissage est spécifique à un individu est et il défini comme « un ensemble d'informations, concernant l'apprentissage d'un apprenant ou d'un groupe d'apprenants, collectées ou déduites à l'issue d'une ou plusieurs activités pédagogiques, qu'elles soient ou non informatisées » (Jean-Daubias et *al*., 2009, p. 2). Selon Jean-Daubias (2011), ces informations prennent en compte les connaissances, les compétences, les conceptions, son comportement ou les informations métacognitives de l'apprenant.

Par conséquent, l'objectif du numérique virtuel est de donner des chances égales à tous les élèves, de donner un aide adapté et personnalisé à chaque élève (Balacheff, 2002 ; Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004).

Par exemple, dans le cadre des EIAHs, les chercheurs ont créé des solutions pour les personnes en situation d'handicap. Par ailleurs, les technologies adaptées aux particularités des élèves dans le domaine des handicaps produit des résultats

58 Lefevre, M., Butoianu, V., Daubias, P., Daubigney, L., Greffier, F., Guin, N., ... et Terrat, H. (2012). Personnalisation de l'apprentissage: confrontation entre besoins et approches. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation, 19,* 1-23.

59 Duthoit, E., Metz, S. M. V. et Pélissier, C. (2012). Processus d'aide en contexte d'apprentissage. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF), 19*(12), 1-12.

encourageants et des effets positifs sont obtenues. En conséquence, les chercheurs se sont beaucoup intéressés aux élèves sourds, malvoyants, dyslexiques, à mobilité réduite, etc. Par exemple, dans les cas des handicaps sensoriels, les attentes sont plus directes et plus évidentes.[60]

D'ailleurs, les objectifs étaient le suivi de l'activité de la personne en situation de handicap ainsi que l'adaptation du contenu aux besoins de l'apprenant. Dans les cas des personnes handicapées, sont utilisé trois concepts importants : aide, assistance et facilitation. D'après Pélissier (2011), le but de ces solutions créées dans les domaines des EIAHs est d'aider la personne en situation de handicap. Un autre objectif serait l'assistance, la substitution, suppléance du handicap (Gapenne, 2006). Les aides technologiques assistent les personnes handicapées dans le but réduire le handicap. D'après Mille et *al*. (2006), l'objectif est de faciliter la vie de la personne handicapée.

Nous pouvons conclure que le numérique a autorisé la création de plusieurs médias adaptés aux besoins particuliers des apprenants. Par exemple, il existe des logiciels qui permettent le passage de la parole à l'écrit ou dans la langue des signes pour les élèves malentendants et sourds. Nous pouvons donner aussi l'exemple des logiciels qui permettent le passage de l'écrit à la parole pour les enfants malvoyantes et aveugles. Ces élèves devient capables, comme les autres, d'apprendre en comprenant, en découvrant, en conceptualisant, en prendre conscience et pas uniquement en s'entrainant et en répétant.[61]

D. Traces d'activités

Le suivi d'apprenants lors de la résolution d'un problème est très difficile et n'est pas du tout évidente. Par conséquent, dans le cadre des EIAH, les traces d'activités sont très souvent utilisées. Les besoins d'analyse de l'usage d'un EIAH est une activité de conception pédagogique, et les traces elles-mêmes sont des objets pédagogiques. La trace est définie comme toute donnée fournissant de l'information sur une session d'apprentissage. Le traçage précis des activités des apprenants constitue une source d'information sur l'expérience de l'apprenant. L'idée est d'utiliser informatiquement cette expérience afin d'analyser et restituer de l'information et d'améliorer le processus d'apprentissage. Par ailleurs, la visualisation des traces donne naissance à plusieurs alternatives/opportunités (surtout dans l'assistance à l'apprenant) et favorise les processus métacognitifs de l'apprentissage (surtout les produits liés à la réflexivité).

60 Hérold, J. F. (2012). Analyse cognitive de l'activité de l'élève pour une personnalisation d'un environnement numérique d'apprentissage. *Revue STICEF, 19*, 285-307.

61 Lefevre, M., Guin, N. et Jean-Daubias, S. (2012). Personnaliser des activités pédagogiques de manière unifiée: une solution à la diversité des dispositifs. *STICEF, 19,* 309-351.

Il existe beaucoup de travaux (Bécu-Robinault, 1997 ; Beney et Guinard, 2004; Héraud et *al*., 2004 ; Kepka et *al*., 2007 ; Laflaquière et *al*., 2006 ; Lejeune et Pernin, 2004 ; Loghin, 2006 ; Masciotra, 2005 ; Pateyron, 1997 ; Reyde et Leach, 1999 ; Séjourné et Tiberghien, 2001) sur l'exploitation des traces d'activités des apprenants, sur les avantages et sur les bénéfices d'utilisation des traces d'activités.

Plus précisément, ces études ont montré que les traces d'activités aident à la compréhension du comportement de l'apprenant (Loghin, 2006), détectent des information signifiantes pour l'apprenant (Ollagnier-Beldame, 2006), améliorent la qualité du dispositif d'apprentissage- les scenarios d'apprentissages (Kepka et *al*., 2007) et les scénarios prédictifs (Lejeune et Pernin, 2004), visualisent l'activité de l'apprenant (Katz et *al*., 1992) et ils repèrent où sont les difficultés des apprenants (Héraud et *al*., 2005). Parmi ces avantages, nous pouvons également préciser que les traces d'activités testent l'efficacité du guidage proposé en terme d'apprentissage (Beney et Guinard, 2004), étudient les activités d'apprentissage (Séjourné et Tiberghien, 2001) et sont des supports indispensables à la création de tutoriels d'aide d'intelligents (Héraud et *al*., 2004), mettent en évidence le type de raisonnement des apprenants (Bécu-Robinault, 1997 ; Reyde et Leach, 1999), caractérisent les connaissances spécifiques qu'ils construisent (Pateyron, 1997) et font référence au partage et à la réutilisation des informations dans le but de guider l'apprenant (Laflaquière et *al*., 2006).[62]

Les travaux dans le domaine des EIAHs ont pointé que les traces d'activités facilitent la réflexivité de l'apprenant. Par ailleurs, le degré de réflexivité augmente avec la visualisation des traces. Beaucoup de travaux (Masciotra, 2005 ; Mollo, 2002) ont révélé que la réflexibilité au cours de l'activité met en ouvre des processus d'apprentissage (Masciotra, 2005).[63]

D'ailleurs, les objectifs principaux des traces d'activités sont définis par l'enseignant ou par le créateur du cours et sont constitué par les informations statistiques obtenues et par la comparaison des scenarios pédagogiques envisagés.

Il nous semble essentiel de préciser que le système de gestion des traces est composé des plusieurs exécutants : un agent qui ramasse les informations brutes, un autre qui transforme les informations brutes en informations ou traces interprétables et un dernier qui rend à l'utilisateurs les traces interprétables.[64]

62 Broisin, J. et Vidal, P. (2007). Une approche conduite par les modèles pour le traçage des activités des utilisateurs dans des EIAH hétérogènes. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF), 14*, 1-18.

63 Cram, D., Jouvin, D. et Mille, A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité: application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque. *Revue Sticef. org, 21*(07), 1-22.

64 Choquet, C. et Iksal, S. (2007). Modélisation et construction de traces d'utilisation d'une activité d'apprentissage: une approche langage pour la réingénierie d'un EIAH. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF), 14*, 1-24.

En conséquence, il nous semble important de décrire les activités des apprenants afin de les caractériser, de se concentrer sur les apprentissages visés et sur les difficultés des apprenants. Par ailleurs, l'analyse des erreurs produites par les apprenants est essentielle pour repérer ces erreurs, les diagnostiquer et proposer une réponse adaptée aux erreurs. Un exemple concret dans le domaine des EIAHs est constitué par les tuteurs intelligents crées pour la première fois par John Anderson (1990). Dans le domaine du raisonnement et du jugement, comprendre l'erreur humaine devient l'objectif primordial des sciences cognitives.[65]

En plus, beaucoup de recherches (Bachelard, 1993 ; Barth, 1987 ; Higelé, 1997 ; Inhelder, Sinclair et Bovet, 1974) ont montré que l'erreur a un rôle important dans le processus d'apprentissage. D'après Inhelder, Sinclair et Bovet (1974), l'erreur peut être utilisée comme un indicateur qui exprime « la démarche authentique de la pensée en évolution ». Selon (Barth, 1987 ; Higelé, 1997), la plupart des pratiques d'apprentissages prennent en compte cette théorie. Du point de vue de Bachelard (1993), il este essentiel que l'apprenant dépassent des nouveaux obstacles afin de pouvoir « changer la culture » et « renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne ». Autrement dit, l'erreur est considérée comme « un outil pour enseigner », outil qui aide à la réussite scolaire. En prenant en compte ces théories, l'apprentissage devient le dépassement des erreurs.[66]

Pour conclure cette partie, l'analyse des traces d'activités est utilisée afin de mieux comprendre le parcours cognitif et l'activité d'un apprenant. Enfin, il nous semble important de préciser que notre logiciel *Digisthésia* utilise aussi l'analyse des traces d'activités des participants.

E. TERENCE, une méthode au-delà d'un jeu

1. Introduction

Avec l'essor des technologies mobiles et notamment avec la généralisation de l'usage des tablettes tactiles, il n'est pas étonnant que le monde de la recherche des TICE s'intéresse fortement à ce support. Les démarches se focalisent d'habitude sur la création d'outils très ciblés et spécifiques, par contre il existe aussi des démarches plus généralistes qui visent la mise en place de lignes directrices pour la création d'outils numériques pour les enfants (Chiasson et Gutwin, 2005; Grammenos et *al*., 2000). Par « généraliste » nous entendons que ces études se basent sur des variables indépendantes comme l'âge ou le genre et non pas sur des caractéristiques cognitives (ex. vitesse de réflexion).

65 Baudouin, C., Beney, M., Chevaillier, P. et LE, A. (2008). Recueil de traces pour le suivi de l'activité d'apprenants en travaux pratiques dans un environnement de réalité virtuelle. *Revue Sticef. org, 16*, 1-33.

66 Perraudeau, M. (2006). *Les stratégies d'apprentissage. Comment accompagner les élèves dans l'appropriation des savoirs.* Paris : Armand Colin.

« L'attention visuelle, la mémoire, la capacité de compréhension d'un texte écrit et autres capacités cognitives se prouvent être cruciales pour la création d'outils numériques accessibles et utilisables par des individus sourds » (voir Marschark, 2000). Par exemple, les compétences en lecture des sourds sont en retard par rapport à leurs homologues entendants, à l'opposé des capacités visio-perceptuelles qui sont plutôt au même niveau que celles des entendants, où même plus développées »[67]. Les réflexions sur la mise en place de telles lignes directrices (ou « guidlines » en anglais) se font dans un contexte ou la majorité des recherches récentes montrent des corrélations entre les capacités cognitives des enfants sourds et leurs performances dans des jeux digitaux.

Par exemple il a été montré que les performances en mémoire d'un enfant sourd sont corrélées avec le nombre de parties qu'ils jouent pour un certain jeu (Bosworth et Dobkins, 2002; Marschark et Mayer, 1998). Le fait de jouer des jeux d'action a amélioré la globalité des performances sur les capacités d'attention (Wallander et *al.*, 2001). Considérant tous ces résultats positifs une voie évidente pour de la création de valeur ajoutée serait la mise en place d'une charte ou de bonnes pratiques pouvant s'appliquer transversalement à différents études et fournissant des résultats n'importe le contenu et contexte de la recherche. De telles bonnes pratiques pourraient viser le support des outils de travail (tablette, papier, etc.), la forme de l'outil (ergonomie des jeux sur tablette, charte graphique et couleurs, etc.) mais aussi le fond (quand utiliser des images/texte, le nombre des fonctionnalités dans un certain jeu, etc.).

2. Description

TERENCE est le nom d'un Projet Européen FP7 qui a duré 3 ans et a visé la conception et création du premier Système d'Enseignement Adaptif (SEA) pour les élèves sourds et malentendants anglais et italiens et leurs professeurs. L'outil vise à aider les professeurs dans leur travail avec des élèves de 7-11 ans qui ont des problèmes profonds de compréhension de texte. Grâce à une démarche de traçage complet le système est voué apporter des informations à d'autres experts comme des linguistes ou des psychologues.

TERENCE a pour but d'utiliser des histoires pour le matériel de lecture des élèves sourds et malentendants pour ensuite travailler les capacités de procès de texte via des jeux de raisonnement concernant chaque histoire. En termes de ressources, la mise en place des bonnes pratiques et leur test à grandeur naturelle se sont faits via des travaux complémentaires d'équipes interdisciplinaires d'ergonomes, des informaticiens, des ingénieurs et des linguistes. La plateforme résultante permet la personnalisation complète des jeux en fonction des capacités spécifiques de chaque élève sourd et malentendant.

67 Designing games for deaf children: first guidelines, T. Di Mascio et *al.* 2013

3. Axes de travail

La recherche se propose de travailler autour de 4 capacités cognitives des élèves sourds et malentendants :

- Compréhension de texte
- Attention visuelle
- Concentration
- Mémoire

Compréhension de texte

« La lecture a été reconnue comme la problématique de base dans l'éducation des élèves sourds et malentendants pour les derniers 30 ans (Conrad, 1979) ». Lors de la lecture, une personne entendante convertit les lettres en code phonologique qui part vers le système auditif. Pour les sourds et malentendants le processus se repose sur d'autres mécanismes cognitifs.

Attention visuelle

Dans un contexte ou le support est une tablette, l'attention visuelle est la capacité clé pour la compréhension. La taille réduite du support met l'accent sur une absorption d'informations à 2 niveau : champ focal et vision périphérique. Des études (Proksch et Bavelier, 2002) ont montré que les sourds et malentendants ont un bon rendement dans l'utilisation de la vision périphérique et c'est justement pourquoi leur attention est plus facilement perturbée lors du parasitage des zones périphériques de l'écran. Pour les entendants il a été observé un phénomène inverse : ils sont plus perturbés par des événements rentrant dans le champ focal.

Concentration

Que ce soit via des recherches sur le niveau d'attention (Dye et *al.*, 2008b), des tests comme UFOV – Useful Field Of View (Ball et *al.*, 1988; Dye et *al.*, 2009) ou de l'enquête des mères et professeurs Meadow (1980), l'acception générale est que les élèves sourds et malentendants ont des problématiques systématiques d'attention et concentration.

Mémoire

La mémoire intervient à plusieurs niveaux dans le processus de jeu et peut être mesurée de différentes façons. L'acception des différences entre les élèves sourds et ceux entendants se fait pour les 3 principaux types de mémoire :

- Court terme : la mémorisation de figures complexes à court terme est plus développée pour les sourds et malentendants (Todmann et Cowdy, 1993) ;
- Mémoire de travail : Marschark et Mayer (1998) ont montré que des joueurs expérimentés sourds et malentendants ont les mêmes performances que ceux entendants, par contre les résultats des joueurs inexpérimentés entendants étaient nettement supérieur que ceux de leurs homologues ;
- Long terme : Grigonis et Narkevičienė (2010) ont montré que la mémorisation à longue durée est plus développée chez les personnes entendentes.

4. Méthodologie

L'expérimentation a été conduite sur des élèves âgés de 7 à 11 ans qui étaient entendants, malentendants ou sourds et avaient des niveaux sous-médiocres dans la compréhension de texte. Les sujets étaient italiens ou anglais ce qui a impliqué la traduction et le calibrage de tout outil de travail dans les deux langues.

Lors de l'expérimentation, les sujets devaient se servir des tablettes tactiles afin de lire des histoires interactives. L'interactivité était constituée par des jeux qui visaient la compréhension et la sédimentation de l'information des histoires. Les jeux étaient générés d'une façon sémi-automatisée sur la base d'annotations de NLP (Procès de Langage Naturel) réalisées par des experts (linguistes, psychologues, etc.) sur la base des textes bruts.

4.1. Les histoires

« La collection d'histoires et de tâches de raisonnement est utilisé pour exécuter des plans de thérapie d'intervention en classe pour évaluer et stimuler les capacités des enfants à comprendre les textes. En particulier, les tâches se concentrent sur la promotion des compétences et le raisonnement d'inférence sur les relations temporelles et causales entre les événements de l'histoire. »[68]

68 Game Design, TERENCE project – ICT FP7 Programme – ICT-2010-257410, TERENCE Consortium 2012

Figure 2. Représentation d'une histoire dans l'interface de TERENCE

Les histoires sont regroupées dans des « livres » constituant des points d'accès principal sur l'écran d'accueil de l'application. Les histoires ont une construction interne modulaire qui permet leurs parcours de façon non-linéaire.[2] Le concept de niveau de difficulté (complexité) est introduit au niveau de chaque module de l'histoire. En fonction du parcours dans l'histoire et du niveau du sujet, le contenu change afin de permettre une capitalisation optimale de l'information.

Entre différentes sessions de lecture l'outil choisit des chemins que l'utilisateur n'a pas encore pris dans l'arborescence de l'histoire. Le fait que la complexité est gérée pour chaque module permet lors de chaque séance une expérience utilisateur fluide, sans un saut important de texte trop simple ou trop compliqué pour le niveau actuel du sujet.

4.2. Les jeux

Les jeux de TERENCE sont reliés aux histoires, et l'accès s'y fait de façon contextuelle, quand on se trouve dans un livre précis et à l'intérieur d'une histoire précise. Le but global de TERENCE est d'améliorer la compréhension de textes, les jeux interviennent dans ce processus en aval de la lecture afin de consolider l'information des histoires.

Le mode de fonctionnement des jeux est pareil pour toutes les histoires, et l'issue d'un tel jeu peut avoir 4 valeurs :

- Correct : le sujet a trouvé la solution correcte (ex. réponse multiple, glisser-déposer, etc.) ;
- Incorrect : le sujet a donné une mauvaise solution ;
- Aucune : le sujet n'indique rien, il discontinue le jeu ;
- Sauter : le sujet décide de ne pas répondre et passer à un autre jeu.

4. 2. 1. Jeux intelligents

Ces jeux exploitent l'information brute que le sujet a acquise via la lecture des histoires. Comme expliqué précédemment, ils sont générés de façon semi-automatique via des annotations NLP qui sont exploités par un système de dialogue.

Les jeux de ce type sont toujours illustrés avec une image principale reposant le contexte de la question. Ce contexte étant différent entre les histoires et les questions, TERENCE contient autant d'illustrations que des questions pour les jeux intelligents. Les réponses sont elles aussi illustrées et comprennent un texte de réponse. Pour chaque question on a une seule réponse correcte, les mauvaises réponses étant tirées des

réponses correctes d'autres questions. Cela permet une homogénéité visuelle et une cohérence histoire/illustration à travers tous les jeux d'une histoire.

Du point de vue de l'expérience de l'utilisateur et du but du jeu, on peut les caser en 3 catégories :

Jeux « Personnage »

Ces jeux visent des informations concernant les personnages des histoires, notamment qui est le déclencheur ou le récepteur d'un événement de l'histoire. Le format du jeu est le choix unique à partir de la liste fermée de réponses. Le sujet se voit poser une question à laquelle il doit répondre en cliquant sur la réponse correcte. Une autre sous-catégorie de tels jeux serait ceux qui se concentrent sur l'action du personnage, ou le « quoi ». Le sujet se verra donc poser des questions sur ce qu'un personnage a fait ou subit.

Figure 3. Question de type "Qui"

Figure 4. Question de type "Quoi".

Jeux « Temps »

Ce type de jeu focalise sur les relations temporelles entre les événements. Les questions peuvent concerner des relations de 4 types entre un événement cible et les événements que le sujet doit choisir à partir d'une liste de 3 événements :

- Avant – Après : le sujet doit placer 2 autres événements soit avant soit après l'événement cible ;
- Avant – Pendant : le sujet doit placer 2 autres événements soit avant soit pendant l'événement cible ;
- Pendant – Après : le sujet doit placer 2 autres événements soit avant soit pendant l'événement cible ;

- Avant – Pendant – Après : le sujet doit placer la totalité des événements avant, après ou pendant l'événement cible.

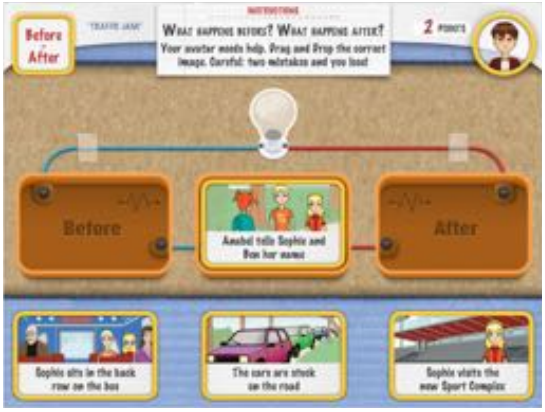


Figure 5. Jeu de sous-type Avant - Après

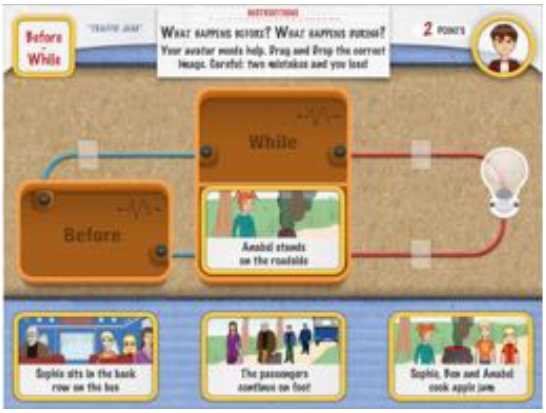


Figure 6. Jeu de sous-type Avant - Pendant

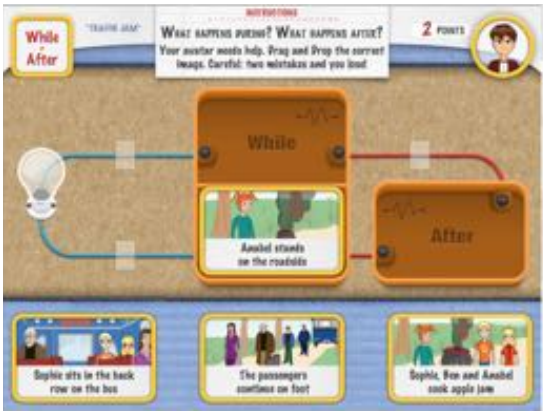


Figure 7. Jeu de sous-type Pendant - Après

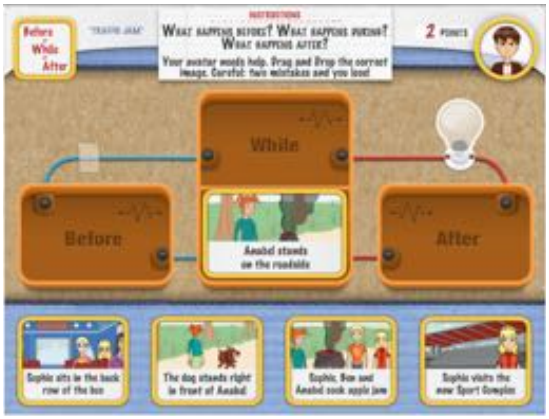


Figure 8. Jeu de sous-type Avant - Pendant - Après

Jeux « Cause »

Ce type de jeu focalise sur les relations de causalité entre les événements. Les questions peuvent concerner des relations de 3 types entre un événement cible et les événements que le sujet doit choisir à partir d'une liste de 3 événements :

- Effet : le sujet doit indiquer quel est l'effet de l'événement cible ;
- Cause : le sujet doit indiquer quelle est la cause de l'événement cible ;
- Cause – Effet : le sujet doit indiquer quelle est la cause et quel est l'effet de l'événement cible.

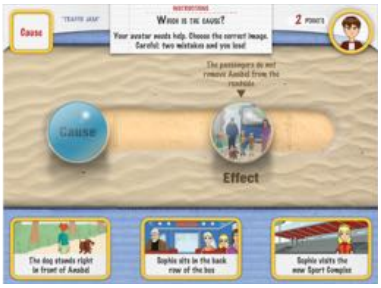


Figure 9. Jeu de sous-type Cause

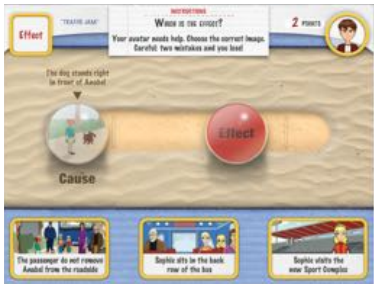


Figure 10. Jeu de sous-type Effet

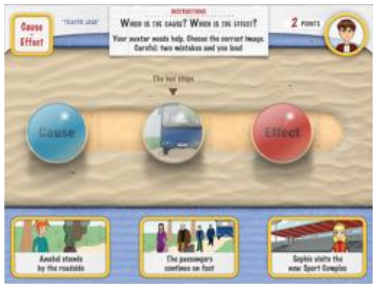


Figure 11. Jeu de sous-type Cause - Effet

4. 2. 2. Jeux de relaxation

Ces jeux ont été conçus comme une option purement ludique pour décompresser entre des sessions de lecture et de jeux intelligents. Cela permet aux sujets de rester dans l'univers de l'expérimentation en continuant à utiliser la tablette mais ne leur met aucune pression quant aux résultats. La valeur ajoutée pour l'expérimentation est le fait que chaque jeu focalise sur un mode d'interaction avec la tablette. Les jeux sont :

<u>Trouver les différences</u>

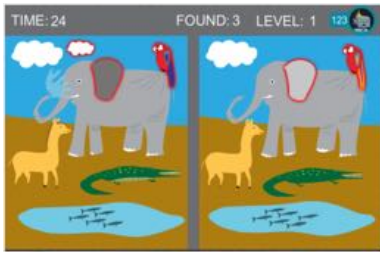


Figure 12. Jeu "Trouver les différences"

Ce jeu focalise sur une interaction simple de type « click ». Deux images sont proposées au sujet avec un certain nombre de différences (notamment des objets manquant dans une des images). Le sujet indique les différences directement sur les images en cliquant l'endroit où l'élément visuel manque.

<u>Exploser les ballons</u>

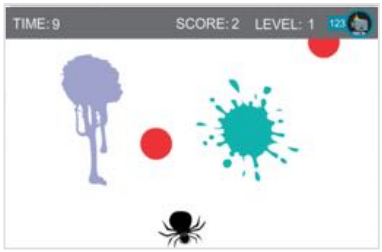


Figure 13. Jeu "Exploser les ballons"

Ce jeu focalise sur une interaction simple de type « double click ». Des ballons apparaissent sur l'écran en tombant du haut vers le bas et le sujet doit les double-cliquer pour les faire exploser. Il y a aussi des araignées qui descendent avec les ballons, le but du jeu est donc de cliquer un maximum de ballons sans cliquer sur les araignées.

Couper des fruits

Figure 14. Jeu "Couper les fruits"

Ce jeu focalise sur une interaction simple de type « balayage». Des fruits apparaissent sur l'écran en tombant du haut vers le bas et le sujet doit les balayer avec le doigt pour les couper en deux. Il y a aussi des champignons qui descendent avec les fruits, le but du jeu est donc de couper un maximum de fruits sans couper des champignons.

5. Bonnes pratiques retenues

Voici 3 bonnes pratiques que nous avons décidé d'implémenter lors de la conception de notre outil de travail *Digisthésia* :

5.1. Simplification et homogénéité

Les enfants (sourds et entendants confondus) ont des difficultés dans les rappels répétés et prennent plus de temps à reconcentrer leur attention. Ces arguments nous poussent à prioriser la réduction du nombre d'actions pour chaque écran et surtout à garder cohérente entre les différents jeux la partie commune contenant des éléments fixes (bouton de retour, score, nombre de vies, etc.)

5.2. Focalisation et distraction

Il faut éviter des facteurs perturbateurs (animation, clignotement, etc.) sur les éléments d'interface périphériques. Les éléments périphériques devrait être les mêmes entre les jeux et ne pas avoir d'animation. Toute interaction devrait se faire vers le centre de l'écran et les stimuli visuels et de mouvement devraient faciliter l'intuitivité pour interagir avec les éléments d'interface plutôt que de distraire l'enfant de son usage.

5.3. Multi-tâche

Les difficultés de gestion de tâches multiples par les élèves sourds et malentendants nous obligent à ne gérer qu'un fil d'interaction sur l'écran. Comme nous avons à disposition un seul canal de communication, des tâches comme la lecture et interaction avec des boutons ou pièces de puzzle doivent absolument se suivre les unes les autres d'une façon linéaire, à des moments différents.

Pour conclure, dans cette première partie nous avons fait un survol de la littérature de spécialité sur la surdité, les caractéristiques des personnes sourdes et malentendants et sur les nouvelles technologies. Par la suite, nous allons présenter la problématique, les objectifs et les hypothèses de notre recherche.

Chapitre 2.
Problématique et hypothèses

I. Objectifs et problématique

Beaucoup de recherches ont contribué à améliorer la pédagogie auprès des élèves sourds. Considérant le nombre important de ces élèves scolarisés en éducation ordinaire, la question se pose de l'adaptation de la pédagogie à leurs besoins spécifiques. L'objectif de cette recherche est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. Dans un tel contexte, la question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, déjà largement utilisés par les élèves entendants, ne pourrait pas permettre d'introduire des didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des élèves sourds ?

Notre but, dans cette étude, est de créer de la valeur ajoutée dans le cadre d'apprentissages actuels, à travers de techniques innovantes. Il s'agira aussi, dans le cadre d'une pédagogique inclusive, de mieux sédimenter les notions apprises en classe. Nous allons tenter de trouver une solution pour les faire progresser au niveau scolaire, mais aussi dans leur vie quotidienne.

Les objectifs opérationnels de cette recherche sont (dans l'ordre de l'importance):

1. introduire des nouvelles méthodes et techniques d'apprentissage basées sur les nouvelles technologies d'utilisation très intuitive (comme les tablettes tactiles) ;
2. étudier et concevoir de telles méthodes (ex. des jeux d'apprentissage) en s'appuyant sur les tablettes tactiles ;
3. mettre en place une telle méthode et en suivre l'impact sur des élèves sourds et malentendants.

L'utilisation des tablettes tactiles est favorisée car il s'agit d'instruments de travail à forte intuitivité et dont l'utilisation est d'usage ludique. Généralement, et comme beaucoup d'études empiriques l'ont montré, les personnes sourdes sont très sensibles aux aspects figuratifs des messages. Il s'agira donc d'exploiter la dimension logique des systèmes informatiques et d'imaginer des logiciels éducatifs adaptés à leurs besoins et à leurs particularités.

Comme nous l'avons déjà évoqué dans la partie théorique, il y a plusieurs recherches dans la littérature de spécialité qui ont montré les avantages concernant l'usage des tablettes tactiles. Parmi ces avantages, nous pouvons citer les suivants : un environnement d'apprentissage attachant et d'un grand intérêt ainsi qu'une motivation accrue (Wainwright, 2012), de nombreuses ressources d'apprentissage (Hahn et Bussell, 2012), la portabilité de la tablette tactile (Kinash et coll., 2013) ou des supports pédagogiques améliorés (Murray, 2011). Nous pouvons citer aussi le dynamisme interactionnel de la tablette tactile car nous pouvons toujours adapter et modifier son contenu. Nous avons aussi remarqué la possibilité de suivre l'évolution de chaque enfant

(les résultats aux jeux éducatifs, le temps de réaction, le nombre d'erreurs) et de personnaliser le contenu en fonction du niveau de chaque participant. La tablette tactile offre également une indépendance et une autonomie du sujet face aux situations problèmes qu'on lui propose. Il existe aussi des études centrées sur les avantages particuliers pour les élèves avec des difficultés d'apprentissage (McClanahan et coll., 2012), sur la communication plus fréquente entre l'enseignant et les élèves (Huber, 2012) ainsi que sur les différentes stratégies d'apprentissage (Fernandez et coll., 2013).

Jusqu'à présent, des approches théoriques et pratiques adaptent les technologies comme les projets Mano[69] (2002), Vidéographix[70] (2008), Clés-en-main[71], etc. Par ailleurs, pour les sujets sourds, les expériences sont encore rares et souvent empiriques.

II. Hypothèses

A. Hypothèse générale : les nouvelles technologies informatiques influenceraient positivement le processus d'apprentissage des élèves.

Dans le contexte actuel, notre supposition est que les nouvelles technologies informatiques et les outils numériques (comme les tablettes tactiles) influenceraient le processus d'apprentissage des élèves. Plus précisément, nous faisons l'hypothèse générale que ces nouvelles technologies informatiques influenceraient positivement le processus d'apprentissage des participants.

En conséquence, nos attentes des résultats font référence à l'observation d'un progrès au niveau de l'apprentissage des élèves suite à l'utilisation des tablettes tactiles. Dans notre cas, la médiation par les nouvelles technologies devrait renforcer leurs potentialités cognitives. Ce progrès peut être soit quantitatif (plus d'information apprise), qualitatif (sédimentation de l'information) ou bien juste un booster des processus cognitifs des utilisateurs.

Ensuite, nous allons identifier les hypothèses opérationnelles/de travail :

B. Le logiciel *Digisthésia* aurait une influence positive sur l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution des problèmes de l'élève.

Nous faisons tout d'abord l'hypothèse que le logiciel *Digisthésia* aurait une influence positive sur l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution des problèmes de l'élève.

69 https://halshs.archives-ouvertes.fr/edutice-00000259/document

70 http://www.lecture.org/ressources/ecrit_surdite/AL101p087.pdf

71 http://www.cles-en-main.fr/datha.htm

Par ailleurs, nous allons aussi citer et développer les 4 sous-hypothèses dérivées de cette première supposition:

1. L'attention

Notre première sous-hypothèse suppose que le logiciel *Digisthésia* influencerait positivement le processus attentionnel de l'élève. Nous attendons, par conséquent, des améliorations au niveau de l'attention des utilisateurs qui ont joué avec Digisthésia.

2. La mémoire

Une autre supposition est que le logiciel éducatif *Digisthésia* aurait une influence positive sur la mémoire des élèves. Après une période d'entraînement avec ce logiciel, nous pensons retrouver des améliorations sur la mémoire des utilisateurs.

3. La vitesse de traitement

L'influence positive du logiciel *Digisthésia* sur la vitesse de traitement de l'information serait une autre sous-hypothèse de notre recherche. Nous attendons donc des résultats positifs sur l'amélioration de la vitesse de traitement des élèves, résultats obtenus après l'entraînement avec notre logiciel.

4. La résolution des problèmes

Dernièrement, nous considérons que le logiciel éducatif *Digisthésia* aurait une influence positive sur la résolution des problèmes des élèves. Nous attendons des améliorations plus importantes au niveau de la résolution des problèmes pour les participants qui se sont entraînés avec notre didacticiel.

Concernant ces 4 paramètres, nous attendons des résultats différents et des comparaisons croisées entre les 2 populations : les élèves qui ont fait partie du groupe témoin et ceux qui se sont entrainés avec notre logiciel *Digisthésia.*

C. La médiation des nouvelles technologies renforce plus les potentialités cognitives des élèves sourds et malentendants

En considérant que le logiciel éducatif *Digisthésia* a été créé dans le but de répondre aux besoins des élèves sourds et malentendants, nous nous attendons que la médiation des nouvelles technologies renforce plus les potentialités cognitives de ces personnes. Plus précisément, nous nous attendons à des scores plus élevés obtenus par les utilisateurs déficients auditifs.

D. Corrélation entre les subtests de l'Echelle non-verbale d'intelligence de Wechsler (WNV) et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia*

Nous faisons l'hypothèse qu'il existe une corrélation entre les subtests de la WNV (« Matrices », « Code », « Mémoire spatiale », « Arrangements d'images ») et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* (« La chasse au trésor », « Débarquement », « Piège de la cascade » et « Puzzle »). Par la suite, nous supposons que le jeu éducatif « La chasse au trésor » est corrélé positivement au subtest « Matrices » de l'échelle non-verbale WNV, le « Débarquement » est corrélé avec la sous-échelle le « Code », le jeu éducatif « Piège de la cascade » est corrélé avec celle de la « Mémoire spatiale » et dernièrement, le subtest « Puzzle » est corrélé avec la sous-échelle « Arrangements d'images ».

E. Corrélation entre le temps de réaction et le niveau de difficulté du tour.

Plusieurs recherches (Hocine, Gouaïch, Di Loreto et Abrouk, 2011) portent sur les techniques d'adaptation utilisées dans les jeux sérieux. Par ailleurs, il a été démontré que les jeux sérieux s'adaptent à l'utilisateur en fonction du niveau de difficulté (débutant, intermédiaire, expert, etc.) et que la difficulté pour chaque niveau du jeu change et augmente avec le temps. De plus, l'acquisition des compétences pour chaque utilisateur évolue avec le temps. La méthode s'appelle « dynamic difficulty adjustment » (ajustement dynamique de la difficulté) et plusieurs études (Andrade G. et *al*., 2006 ; Hunicke R. et *al*, 2004; Spronck P., et *al*., 2004; Yun C. et *al.*, 2010) se sont concentrées sur ce sujet.

D'ailleurs, nous pensons retrouver aussi une corrélation entre le temps de réaction et le niveau de difficulté au jeu. Conséquemment, nous supposons que le temps de réaction changerait en fonction du niveau de difficulté au jeu. Conformément, les participants qui ont un temps de réaction plus long aux stimuli sont les participants qui se trouvent au niveau débutant. A l'inverse, les sujets qui ont un temps de réaction plus court sont ceux qui ont atteint déjà le niveau expert.

1. Corrélation entre le score final et le niveau final aux jeux.

D'ailleurs, nous pensons retrouver une corrélation entre le score final obtient pour une partie des jeux éducatifs et le niveau final auquel le sujet se trouve à la fin de partie.

Parmi les variables de la recherche, nous pouvons citer les suivantes : les variables dépendantes (VD) : l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire et la résolution des problèmes, la variable indépendante (VI) qui est représentée par la tablette tactile contrôlée par l'expérimentateur - le logiciel *Digisthésia*. Nous pouvons aussi énumérer le temps de réaction (variable continue), la vitesse de réponse aux stimuli, l'âge du participant, les scores aux jeux (variables quantitatives), le niveau d'intelligence, le degré de motivation, le niveau de difficulté aux jeux (variables qualitatives),

l'appartenance à une catégorie d'âge (il existe 2 catégories 11 -13 ans et 13-16 ans-variables catégorielles), la variable genre (masculin/féminin), l'utilisation du LSF[72] ou de la parole, appareillage/implant cochléaire versus non-appareillage, l'âge d'implantation, etc.

72 LSF : Langues des Signes Française

Chapitre 3. Méthodologie

I. Introduction

Cette partie est l'occasion de présenter la population qui a participé à notre étude, les différentes méthodes de recueil des données ainsi que le matériel et le déroulement du protocole expérimental. Nous détaillerons également la façon dont nous avons rencontré les participants ainsi que la manière dont leur choix a été fait. Nous présenterons également notre outil d'apprentissage – *Digisthésia*, logiciel adapté aux besoins des élèves sourds et malentendants.

Ce travail méthodologique a été mené en étroite collaboration entre les personnes du laboratoire « Parcours Santé Systémique » (laboratoire rattaché à l'Université Lyon 2), avec l'Ecole Doctorale EPIC (Education, Psychologie, Information et Communication), la fondation O.V.E. (le Dispositif Surdité et Troubles de langages - SSEFIS Recteur Louis) et l'entreprise iNovAction Services (entreprise spécialisée dans le développement d'applications mobiles). Nous avons collaboré avec la startup iNovAction Services pour la partie informatique dans le sens où ils ont créé une application sur tablette tactile pour les sourds et les malentendants, application mettant en œuvre les découvertes de ma recherche. Ils se sont occupés de tous les aspects techniques (développement de l'application, formation, fourniture des tablettes, hébergement d'un serveur, etc.).

Comme nous avons indiqué plus haut, notre méthodologie s'est appuyée sur une équipe de conception pluridisciplinaire. Nous avons travaillé avec des spécialistes de domaines tels que des psychologues, des enseignants, des orthophonistes ainsi qu'avec des spécialistes du domaine informatique comme des informaticiens et des infographistes.

II. Participants

L'échantillon était constitué de 80 élèves provenant de collèges de Lyon et de sa périphérie. Les élèves provenaient de classes de 5ème jusqu'en fin d'études (3ème) et ont été constitués en 2 groupes de la même taille :

- 40 élèves avec différents degrés de déficience auditive, des sujets implantés et appareillés. Le groupe est composé de 21 garçons et 19 filles avec une moyenne d'âge d'approximativement 14 ans et un écart type de 1,7 ans ;
- 40 élèves sans déficiences auditives. Le groupe est composé de 31 garçons et 9 filles avec une moyenne d'âge de 13,2 et un écart type de 1,8 ans.

Ces données sont résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Statistiques descriptives des groupes (N = 80)

	N	Genre		Age			
		Fem	Masc	*m*	*ET*	Min	Max
Entendants	40	9	31	13,20	1,80	11	16
Sourds et malentendants	40	19	21	13,97	1,73	11	16

Fem : féminin ; Masc : masculin ; m :moyenne; ET : écart-type;

Concernant la sélection des participants, nous avons contacté la fondation O.V.E. (Œuvre des Villages d'Enfants), plus précisément le dispositif « Surdité et Troubles du Langage » du SSEFIS (Services de Soutien à l'Education Familiale et à l'Inclusion Scolaire) Recteur Louis. Il accompagne 116 jeunes sourds et malentendants âgés de 11 ans à 20 ans et scolarisés dans une ULIS (Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire) ou dans un milieu ordinaire. Ensuite, le SSEFIS nous a mis en relation avec quelques établissements scolaires localisés dans le Rhône et aussi avec les parents des élèves pour demander leur consentement. Nous avons proposé à tous les parents un formulaire d'information et de consentement. Le but de ce document a été de présenter la nature de l'étude, les objectifs de cette recherche ainsi que le déroulement de l'expérimentation. La description comporte aussi la durée de la participation ainsi que le nombre de rendez-vous. Un exemplaire de ce formulaire « Information et consentement » se trouve dans la partie « Annexes ».

Au total, cette étape a duré plus longtemps que prévu (1 année), notamment à cause du nombre important d'interlocuteurs et de leur disponibilité. Avant tout, nous avons eu plusieurs rendez-vous avec la Directrice de la fondation, avec le Chef du Service Paramédical et Psychologique du Dispositif Surdité et Troubles du Langage, avec les enseignants des collèges, avec les psychologues et aussi avec les orthophonistes. Le recueil des consentements des parents a duré 3-4 mois.

Plus précisément, les participants ont été recrutés sur 7 établissements scolaires différents de la région Rhône-Alpes :

- Le Collège Professeur Marcel Dargent (Lyon, 69003) ;
- Le Collège Molière (Lyon, 69003) ;
- Le Collège du Tonkin (Villeurbanne, 69100) ;
- l'Ecole Croix-Luizet (Villeurbanne, 69100) ;
- Le Collège Laurent Mourguet (Ecully, 69130) ;
- Le Collège Jean-Philippe Rameau (Champagne-au-Mont-d 'Or, 69410) ;
- Le Collège René Cassin (Corbas, 69960).

Nous avons défini quelques critères d'inclusion pour la population de cette étude :

- l'âge des participants entre 11 ans et 16 ans ;
- le degré de déficience auditive : nous avons choisi des participants sourds et malentendants implantés et appareillés sans autres troubles associés ;
- un acquis minimum d'utilisation de tablette tactile dans la vie de tous les jours.

Concernant le dernier critère d'inclusion, nous pouvons préciser que 90% des participants à cette recherche avaient déjà une tablette tactile chez eux et ils se sentaient à l'aise avec la tablette numérique.

En conséquence, nous avons divisé le groupe formé par des sujets sourds et malentendants en deux sous-groupes : un premier sous-groupe qui est composé d'élèves qui ont utilisé le logiciel *Digisthésia* sur tablette tactile et le deuxième sous-groupe, celui du groupe de contrôle qui est composé d'autres élèves sourds et malentendants qui n'ont utilisé que les méthodes traditionnelles. Par ailleurs, le groupe formé par les élèves entendants a été aussi divisé en deux sous-groupes : un premier sous-groupe qui a utilisé les méthodes traditionnelles d'apprentissage et un deuxième sous-groupe qui a utilisé le logiciel *Digisthésia* sur tablette tactile. Les participants appartenant au groupe de contrôle et expérimental n'ont pas utilisé le logiciel *Digisthésia*.

Concernant la population du premier groupe, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, les élèves sourds et malentendants n'avaient pas d'autres troubles associés et ils étaient tous appareillés/implantés. Il existe deux profils d'élèves : avec appareillage classique (comme les prothèses) et les implantés (implants cochléaires). Ils ont tous été implantés très jeunes, ils ont toujours connu le langage oral et ils ont une très bonne récupération auditive. Parmi les sujets de cette recherche, 22 personnes sont atteintes d'une surdité profonde, diagnostiquée avant l'âge de 3 ans. Les 18 autres personnes l'ont été plus tardivement, après l'âge de 3 ans. Nous pouvons aussi noter que, parmi ces participants, 24 élèves sont nés dans des familles entendantes et 16 élèves proviennent de familles sourdes.

Comme nous l'avons évoqué auparavant, notre but était de comparer les résultats de ces deux groupes et de constater s'il s'agit (ou non) d'un progrès au niveau de l'évolution des capacités cognitives de l'élève malentendant ou sourd.

Le Tableau 3 ci-dessous présente la répartition des 4 sous-groupes de notre population :

- 20 élèves sourds et malentendants implantés et appareillés, sans troublés associés qui ont utilisé la tablette tactile.
- 20 élèves sourds et malentendants implantés et appareillés, sans troublés associés qui n'ont pas utilisé la tablette tactile (le groupe de contrôle/groupe témoin).
- 20 élèves sans troubles auditifs qui ont utilisé la tablette tactile.
- 20 élèves sans troubles auditifs qui n'ont pas utilisé la tablette tactile (le groupe de contrôle/groupe témoin).

Tableau 3. Statistiques descriptives des sous-groupes (N=80)

		N	Genre		Age			
			Fem	Masc	*m*	*ET*	Min	Max
Entendants	Sans entraînement	20	1	19	13,40	1,82	11	16
	Entraînés	20	8	12	13	1,80	11	16
Sourds et malentendants	Sans entraînement	20	13	7	14,50	1,90	12	16
	Entraînés	20	6	14	13,45	1,40	11	16

Fem : féminin ; Masc : masculin ; m :moyenne; ET : écart-type;

Notre environnement numérique d'aide à l'apprentissage, le logiciel *Digisthésia*, a été expérimenté sur 40 élèves comptant 20 entendants et 20 sourds et malentendants. Ils ont été observés et interrogés au cours des années scolaires 2013/1014 et 2014/2015. Nous avons organisé des entretiens individuels où chaque élève a eu sa propre tablette tactile, séances qui seront présentées et détaillées dans la partie suivante, « La procédure et le déroulement de l'expérimentation ».

Le chiffre de 40 participants sourds et malentendants peut paraître limité mais nous nous sommes heurtés à une série de difficultés et contraintes d'organisation, de sélection des participants aussi que d'ordre temporel. Nous allons développer plus ces difficultés dans la dernière partie de la thèse, « Limites et perspectives ».

III. Outils

A. Introduction

Afin de répondre à notre questionnement de recherche, nous avons créé un outil informatisé d'aide à l'apprentissage : le logiciel ludo-éducatif *Digisthésia*. Comme nous l'avons évoqué auparavant, ce logiciel a été conçu en collaboration avec l'entreprise iNovAction Services.

B. Acteurs

iNovAction Services est une startup spécialisée dans le développement d'applications mobiles. En tant que JEI (Jeune Entreprise Innovante) et détenant l'agrément de CIR (Crédit Impôt Recherche) ils ont pu intégrer notre collaboration au sein de leurs chantiers de recherche expérimentale.

Ils se sont occupés de tous les aspects techniques (développement de l'application, formation) et ils ont aussi mis à la disposition des élèves plusieurs tablettes tactiles. Au

niveau de la gestion de projet, ils ont inclus *Digisthésia* dans leur plan de charge avec des estimations faites par leur Directeur Technique. Suite à cette intégration dans le planning de l'entreprise, ils ont établi une équipe projet (formé d'un développeur mobile et un infographiste) avec un chef de projet qui a été mon interlocuteur unique. La méthodologie de développement choisie a été le « Cycle en V ».

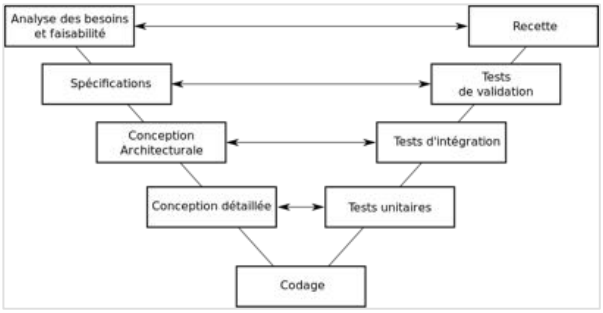


Figure 15. Cycle en V

Cette méthodologie est généralement appliquée dans les développements informatiques de type R&D (Recherche et Développement). Les phases correspondent à des jalons de validation ferme qui nécessitent la participation du client (moi, dans le cas de *Digisthésia*) et l'équipe de développement.

J'ai été surtout très impliquée dans les phases initiales car il fallait rendre compte au chef de projet d'iNovAction de mon besoin exact afin que les développements y répondent au mieux.

C. Création

Comme nous l'avons déjà précisé, ce logiciel d'apprentissage contient des jeux d'apprentissage qui font appel au raisonnement, à l'attention, à la mémoire, à la capacité de résolution de problèmes et à la vitesse de réaction. Il a pour but d'améliorer quatre paramètres importants pour le processus d'apprentissage : la mémoire, l'attention, la vitesse de traitement et la capacité de résolution de problèmes.

Certains des jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ont été inspirés de ceux de Lumos Lab[73] et aussi du projet TERENCE.

Le site de Lumos Lab propose aux particuliers et aux entreprises une palette 25 jeux qui sont censés augmenter certaines capacités cognitives. Leur site compte plus de 2 millions d'utilisateurs actifs et ils sont en étroite collaboration avec une centaine de chercheurs dans le monde entier.

Actuellement, Lumosity est le leader dans le domaine de l'entraînement cérébral. Le laboratoire a commencé son activité en 2006 et la première expérimentation a eu le but d'évaluer l'effet de l'entraînement Lumosity sur la cognition (Scanlon, Drescher et

73 https://www.lumosity.com/

Sarkar, 2006, 2007a, 2007b). Les idées du laboratoire Lumosity s'appuient sur plusieurs recherches scientifiques. Plus précisément, le Laboratoire Lumos a développé des jeux éducatifs pour les enfants présentant des troubles d'apprentissage (Kesler, 2008), pour les enfants avec le syndrome de Turner (Kesler, 2008), pour les enfants souffrant d'un trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH) -(Klingberg et *al*., 2005). Les travaux du Laboratoire Lumos ont montré que les formations proposées influencent et améliorent les résultats cognitifs des participants. Ils ont remarqué aussi des améliorations des performances du raisonnement en mathématiques (Holmes et *al*., 2009).

TERENCE est un projet européen qui s'intéressait à la conception et à la création d'un Système d'Enseignement Adaptif (SEA) pour les élèves sourds et malentendants. En conséquence, il nous paraît intéressant de le décrire et de le détailler séparément, dans la dernière partie de ce chapitre.

1. Spécifications

Afin de pouvoir parcourir les différentes étapes de réalisation de l'outil, des séances de travail intermédiaires ont été nécessaires. Les deux premières étapes ont été le relevé des particularités et des besoins des élèves sourds et malentendants ainsi que les bases des spécifications du fonctionnement des jeux *Digisthésia*. Pour adresser les deux points, nous avons effectué une période d'observation dans une ULIS (Unités Localisées pour l'Inclusion Scolaire) au Collège Professeur Marcel Dargent de Lyon. Cette période d'observation a duré deux mois à raison d'une à deux fois par semaine.

Après cette période d'observation, nous avons remarqué les difficultés spécifiques des élèves sourds et malentendants ainsi que leurs besoins. Nous avons observé les élèves en groupe, lors des cours de soutien scolaire avec l'enseignante spécialisée de l'ULIS. Nous avons participé aux cours de français, de mathématiques, d'histoire-géographie, anglais, SVT [74], etc. Nous avons discuté les problèmes observés avec l'équipe pédagogique du collège formé par les enseignants, surtout avec l'enseignante spécialisée de l'ULIS. Nous étions aussi en contact avec les psychologues de l'O.V.E. (qui intervenaient dans les 7 collèges cités du Rhône) mais aussi avec les orthophonistes. Les difficultés observées sont en accord avec la littérature de spécialité présentée auparavant, en pointant les retentissements sur le langage verbal, les retards d'acquisition dans les domaines sémantiques et syntaxiques/morphologiques, l'accès difficile à la lecture et à la l'écriture. En plus, les notions de temps et d'espace sont compliquées pour les enfants sourds et malentendants. L'explication vient du fait qu'elles engagent l'expérience de l'enfant et aussi le langage oral. Par exemple, nous

74 Sciences de la Vie et de la Terre

avons remarqué beaucoup de difficultés en histoire et en langue française mais les mathématiques n'ont pas posé beaucoup de problèmes aux élèves, spécialement la géométrie dans l'espace. Les exercices utilisés le plus souvent pour les élèves sourds et malentendants sont les exercices de textes à trous avec beaucoup de contenu visuel. L'enseignante spécialisée nous a avoué le fait qu'elle simplifie toujours les consignes et le vocabulaire. Nous avons aussi observé qu'elle utilise beaucoup de couleurs, des jeux pour faire de la grammaire, des jeux de société pour apprendre de nouveaux mots et pour utiliser les connecteurs de la langue française. Nous avons aussi remarqué l'utilisation fréquente de vidéos avec des sous titrages pour les élèves sourds et malentendants.

2. Conception

A l'issue de la période d'observation dans les ULIS nous avons pu dresser une série de contraintes très explicites pour le développent de l'outil, dont la plus importante était l'optimisation de l'interface pour des utilisateurs sourds et malentendants. Avec ces remontées du terrain nous avons pu entamer la phase de conception de l'outil *Digisthésia*. La durée totale de la phase de conception a été d'un an et s'est réalisée en itérations qui dépendaient de la disponibilité des équipes techniques d'iNovAction Services.

En conséquence, l'interface a été conçue pour être adaptée aux réelles capacités des élèves sourds et malentendants. Les éléments ergonomiques et de design ont été notamment choisis pour :

- simplifier la prise en main de chaque jeu ;
- maximiser l'intuitivité des interactions sur chaque écran ;
- ne pas utiliser des éléments textuels comme de l'aide ou des indications initiales ;
- rendre les jeux appétants via un design avec des éléments d'illustration plutôt qu'un design penchant vers l'ergonomie mobile « basique » (ex. interface iPhone)

Nous allons dans la suite donner des exemples concrets de comment *Digisthésia* répond à ces contraintes ainsi que des contre-exemples d'applications qui ne répondraient pas aux besoins spécifiques d'utilisateurs sourds et malentendants.

A part l'interface, il fallait aussi mettre en relation le fonctionnement de *Digisthésia* avec le sujet de la thèse. L'objectif des jeux ludo-éducatifs était de mesurer et entraîner des caractéristiques cognitives comme l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire spatiale ainsi que la résolution de problèmes et la flexibilité cognitive. Une deuxième exigence a donc été que le degré de difficulté des jeux soit croissant par rapport aux performances du sujet. Par conséquent, le sujet est amené progressivement vers des raisonnements de plus en plus complexes par étapes successives. La construction

progressive des jeux ludo-éducatifs permettrait donc une évolution personnalisée des performances du sujet.

En plus des deux exigences principales très générales déjà exprimées, nous avons pu indiquer d'autres fonctionnalités ou besoins incontournables plus précis comme :

Suivi

Nous devons suivre l'évolution de l'élève facilement et à distance, sans avoir à déranger le sujet dans son environnement. Nous devons avoir accès aux résultats des jeux éducatifs et aux détails des différentes séances de jeu (ex. les temps de réaction, niveau de la partie, etc.). L'utilisation de ce suivi à distance serait réservée au psychologue conduisant l'expérimentation. Cependant à l'issue de cette thèse il serait envisageable de donner aux parents la possibilité de suivre l'évolution de leurs enfants sourds et malentendants.

Traçage

Afin de bénéficier pleinement de l'expérimentation, l'outil doit historiser tous les détails possibles sur son usage par les sujets. Cela nous permettrait de reconstruire le parcours complet du sujet dans l'outil, ainsi que la façon exacte dont il s'est comporté pendant les séances de jeu. Ces données peuvent être partagées en deux catégories :

- Générales : les paramètres portant sur le contexte de la séance de jeu (date et heure de la séance, jeux choisis, niveau maximum obtenu pour le jeu, score maximum, etc.)
- Contextuelles : pour le jeu choisi, il faut historiser toutes les manipulations du sujet, notamment : la durée de la partie, le niveau de difficulté, le temps de réflexion pour chaque tour et essai, les choix faits et la correctitude de chaque essai.

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre de notre recherche, dans le cadre des EIAHs (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), les traces des activités des sujets sont souvent utilisées et ont l'objectif de faciliter les processus de personnalisation de l'apprenant ou d'aide à l'apprentissage. Les recherches actuelles ont pointé qu'elles ont un rôle important dans des scénarios d'apprentissage (Kepka et *al.*, 2007) et qu'elles contribuent à la compréhension du comportement de l'utilisateur (Loghin, 2006).

Nous allons détailler dans la suite les paramètres historisés ainsi que donner des détails sur la volumétrie des données obtenues lors de l'expérimentation.

Personnalisation

En principe, le contenu des différents jeux (les « parties ») est chargé sur les tablettes auparavant et il est le même pour tous les sujets. Le nombre de parties différentes qu'un sujet peut jouer est donc limité. Afin d'éviter la répétitivité et l'ennui pendant les séances de jeu, ces parties devraient être choisies de la façon la plus aléatoire possible en fonction de deux facteurs :

- l'historique de jeu du sujet : prioriser les parties pas encore jouées par le sujet ;
- le niveau du sujet : nous avons introduit un concept de parties de différentes difficultés. En fonction du nombre de parties jouées et de la facilité du sujet à monter en niveau de difficulté, on impacte le choix de la prochaine partie qu'il jouera.

Avec la mise en place de ces 3 fonctionnalités (suivi, traçage et adaptabilité) la valeur ajoutée de notre logiciel d'apprentissage *Digisthésia* par rapport à un outil « classique » est évidente :

- intuitivité : l'outil est optimisé pour minimiser le temps de prise en main ;
- autonomie : rendre le sujet autonome pendant les séances d'utilisation ;
- visibilité : le suivi permet d'avoir un aperçu complet sur ce que le sujet fait ;
- non-intrusion : le suivi se fait à distance, sans apporter des facteurs perturbants dans l'environnement du sujet ;
- adaptabilité : les contenus sont conçus dans une logique de difficulté croissante qui permet aux sujets de s'améliorer progressivement ;
- ludification : ajouter un côté plus ludique à l'apprentissage en utilisant le jeu comme canal de transit de l'information.

3. Développement

Cette phase a compris la réalisation technique de l'outil *Digisthésia*. Elle s'est étendue sur une période de plus d'un an, avec de nombreuses séances de travail avec l'équipe technique d'iNovAction. Les différents chantiers ont été :

3.1. Application conteneur

Lors de la phase de conception nous avions indiqué que le besoin était de créer 4 jeux différents, chacun correspondant à un subtest de l'échelle WNV : « Mémoire spatiale », « Matrices », « Code » et « Arrangement d'images ». Bien que différents, d'un point de vue technique les jeux ont un fonctionnement en quelque sorte homogène et doivent être accueillis au sein d'une seule application mobile. En plus de l'écran d'accueil (où l'utilisateur choisit les jeux), cette application conteneur s'occupe du stockage des données, leur transmission et du paramétrage de la tablette.

Pour le stockage des données une structure commune était nécessaire car du point de vue de la recherche, les résultats des 4 jeux doivent être exploités via les mêmes outils d'analyse (SPSS, Excel, etc.). iNovAction a donc développé une application mobile qui était installable sur tout modèle de tablette Android et optimisée (taille écran, performances, etc.) pour les tablettes qu'ils nous ont fourni pour l'expérimentation.

Pour la transmission des données, lors des spécifications nous avions noté que les tablettes n'auraient pas forcément une connexion Internet. Il fallait donc que l'historisation se fasse localement sur chaque tablette, et si jamais à un moment donné la tablette serait connectée à Internet, qu'elle remonte les informations stockées localement. Ce fonctionnement nous assure que même dans le pire cas ou la tablette n'aurait jamais de connexion Internet, on pourrait récupérer les informations une fois que le sujet aurait remis la tablette.

Au niveau du paramétrage il fallait qu'à chaque prêt de tablette on puisse indiquer quel est le sujet qui s'en servait sans avoir à réinstaller l'application *Digisthésia*. Il s'agit du seul paramètre à renseigner.

3.2. Les jeux

Lors de la phase de conception nous nous sommes penchés sur le tronc commun du fonctionnement des jeux. En principe on a une relation de multiplicité pour chacun des 4 jeux:

Partie : lors du lancement d'un jeu le sujet joue une partie.

Tour : une partie est une suite de tours. Chaque tour a un niveau de difficulté ainsi qu'une « séquence » de choix. La séquence est préétablie dans le contenu de la tablette et représente le problème à résoudre. Par exemple pour les jeux de cartes une séquence peut être associée aux cartes que nous avons dans les mains et qui ne peuvent être jouées que dans un certain ordre afin de gagner partie. Pour un jeu de puzzle, la séquence est constituée des pièces du puzzle à reconstituer.

Essai : pour résoudre la séquence, le sujet fait plusieurs essais. Chaque essai peut être correct ou erroné, en fonction de la séquence à résoudre.

Les données enregistrées lors d'un essai sont donc :

- joueur: identifiant codifié des sujets ;
- jeu: le nom du jeu ;
- tours perdus: nombre de tours perdus pour la partie en cours ;
- tours gagnés : nombre de tours gagnés pour la partie en cours ;
- tour gagné : indique si le tour en cours a été gagné ou perdu ;

- numéro du tour ;
- niveau du tour ;
- niveau initial : niveau auquel la partie commence ;
- niveau final : niveau auquel la partie finit ;
- niveau maximum : niveau maximum atteint pendant la partie en cours ;
- séquence du tour : identifiant de la séquence ;
- score : score final de la partie, il représente la somme des scores de tous les essais ;
- temps total : temps de réflexion total, représente la somme des temps de réflexion de chaque essai ;
- date : date exacte de la partie, au format « jour/mois/année heure:minutes:secondes » ;
- numéro de l'essai ;
- score de l'essai : composant du score final ;
- temps de réflexion : durée de réflexion en millisecondes ;
- essai correct : indique si l'essai a été correct ou pas.

Pour donner une idée de la volumétrie, après la récupération et filtrage des données, la matière première de notre travail d'analyse statistique peut être synthétisée par :

---

40 *sujets ont joué* ***759*** *parties comptant* ***8503*** *tours et* ***38336*** *essais.*

3.3. Infrastructure

Bien que l'objectif principal ait été de créer une application sur tablette mobile, la nécessité de remonter et agréger les données a introduit un besoin technique de mise en place d'un « serveur applicatif ». C'est à ce serveur que les tablettes pouvaient envoyer d'une façon sécurisée et cryptée (pour des raisons de confidentialité) via Internet, l'historique des séances de jeu des sujets. Une fois arrivées, les données étaient stockées dans une base de données à laquelle on avait accès à tout moment via un outil d'administration (PhpMyAdmin). Cet outil permettait aussi l'export des données vers des formats de tableur (.csv ou .xls) afin qu'on puisse les exploiter dans des logiciels de statistique comme SPSS ou Knime.

Figure 16. Interface d'administration PhpMyAdmin

3.4. Le design

Comme expliqué dans la partie « Conception », l'appétence des jeux était une des caractéristiques incontournables pour la réussite de l'expérimentation. En fait, comme les âges des sujets étaient comprises entre 11 et 16 ans, nous nous situions sur un public habitué à des médias très graphiques (bandes dessinées, jeux sur ordinateur, films d'animation, etc.). En plus, les élèves sourds et malentendants sont plus sensibles à la présentation visuelle des supports.

L'Univers graphique

Pendant la période d'observation dans les ULIS nous avons essayé, lors de nos échanges avec les sujets, de déceler des possibilités d'univers graphique qui pourrait rendre l'application et les jeux plus intéressants. Via des questions comme « quelle bande dessinées lisez-vous » ou « quels dessins animés vous plaisent » ou encore « à quel jeu vidéo jouez-vous » nous avons pu lister quelque motifs d'univers récurrents :

- conte de fée: un sujet abordé exclusivement par des sujets de genre féminin. Des nombreux renvois vers l'univers Disney, surtout via des dessins animés et films d'animation. Le thème principal de personnage principal « princesse » était récurrent pour la majorité des sujets ;
- science fiction : univers abordé exclusivement par des sujets de genre masculin. Deux principaux sous-thèmes partageaient les sujets en 2 groupes
    - « mécha » : ou les personnages principaux étaient des robots (ex. Transformers), des extra-terrestres où des humains dans l'espace ;
    - super héros : humains avec des super-pouvoirs (Spiderman, Batman, etc.).
- aventure : des sujets des deux genres ont cité cet univers. Les sous-thèmes principaux étaient les ninjas (Naruto, Bleach) et les pirates (Peter Pan, Pirates des Caraïbes, One Piece, Robinson Crusoé).

Ce dernier sujet, les pirates, nous a frappé car bien que pas dominant chez la majorité des sujets (il a été très rarement mentionné comme sujet d'intérêt principal), il était récurrent. En plus, les moyens de consommation mentionnés couvraient la totalité des supports :

- bandes dessinées : One Piece ;
- livres : Peter Pan, Robinson Crusoé ;
- dessins animés : Peter Pan, Barbe rouge, Histoire de Pirates ;
- films d'animation : Peter Pan, Atlantis ;
- films artistiques : Pirates des Caraïbes, Neverland ;
- jouets : Lego, jeux de rôle et costumes.

Nous avons choisi comme univers de Digistésia le ***thème des pirates****.*

Cette contrainte a été incluse dans les spécifications et prise en compte lors des séances de travail avec l'infographiste d'iNovAction Services. Avec le choix du thème effectué, l'infographiste a proposé un style « illustré » caractérisé par des personnages dessinés et utilisation de couleurs vives. Voici quelques éléments graphiques initiaux proposés par la graphiste (tous les éléments graphiques ont été soit créés par les graphistes d'iNovAction soit achetés via des sites de stock d'images comme Fotolia ou Shutterstock) :

Figure 17. Ebauches d'éléments d'interface

D'un point de vue ergonomique et en prenant en compte le niveau de contraste des tablettes, le fait de jouer sur les couleurs ajouterait à l'intuitivité de l'application. Par exemple afin de mieux suggérer qu'un élément est important ou cliquable nous allons le faire contraster avec l'image de fond de l'écran.

La page d'accueil

Voici la forme finale de cette page :

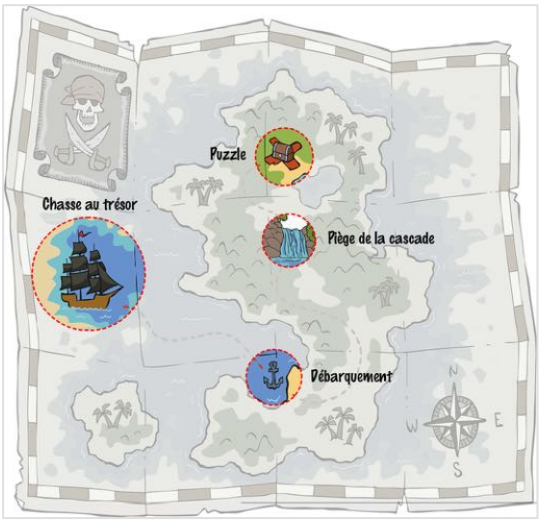


Figure 18. Ecran d'accueil de l'application *Digisthésia*

L'usage de la technique de contraste mentionnée en-dessus était un enjeu majeur pour la page d'accueil de l'application. En fait comme il s'agit du premier contact que le sujet a avec *Digisthésia*, il était très important de suggérer clairement l'univers mais aussi d'être très intuitif pour le choix des jeux.

Cette page d'accueil nous permet d'avoir un cadre très graphique lors de l'explication des jeux. Elle facilite une accroche du sujet à l'univers de *Digisthésia*. Le fil conducteur du scénario entre les différents jeux est le suivant:

Tu es un aventurier qui essaie de retrouver un grand trésor caché par les pirates. La tablette contient la carte vers le trésor mais le chemin est plein de pièges et d'épreuves que tu devras dépasser.

Nous pouvons remarquer l'intuitivité de cet écran, le lancement des jeux se faisant par les 4 icônes coloriées contrastant avec la carte du fond, qui est décolorée et beaucoup moins visible. L'enchaînement temporel des étapes (navire, débarquement, déplacement et retrouvaille du trésor) est suggéré par le chemin pointillé rouge (cliché des cartes de trésor) qui entoure aussi chaque icône de lancement des jeux.

La barre de score

En plus de la page d'accueil, qui est un élément central, nous avions aussi indiqué dans les spécifications le fait que tous les jeux auraient une même logique de fonctionnement, celle d'un jeu « classique » : lors d'une partie, le sujet a plusieurs « vies » (nombre de fois où il peut se tromper), il accumule des points via ses essais et il avance dans les niveaux des jeux. En plus, à tout moment le sujet peut arrêter le jeu dans l'état et revenir à la page d'accueil. Comme les différents concepts sont récurrents dans les jeux vidéo, nous avons préféré d'ajouter des éléments explicatifs textuels afin de faciliter la prise en main des jeux. Le fait d'expliquer facilement à quoi servent les différents éléments permet au sujet de se concentrer sur le jeu.

Figure 19. Barre de score des jeux *Digisthésia*

3.5. Optimisation de l'eXpérience Utilisateur

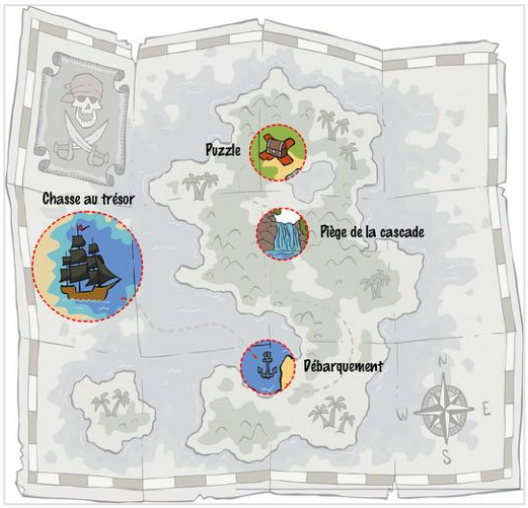
Lors de la conception de l'outil *Digisthésia*, nous souhaitions lisser l'expérience utilisateur pour retrouver une prise en main de difficulté homogène pour les deux groupes d'utilisateurs : entendants et sourds et malentendants.

Nous allons présenter quelques uns des choix d'ergonomie et design implémentant les bonnes pratiques tirées du projet TERENCE et de nos propres observations quant à l'utilisation des tablettes tactiles par les utilisateurs sourds et malentendants. Pour chacun de ces choix nous allons présenter un contre-exemple venant de jeux connus disponibles sur les magasins d'applications (Apple Store ou Google Play).

Accueil et choix d'un jeu

L'écran d'accueil permet à l'utilisateur de lancer un des jeux. Afin de renforcer la perception d'un outil simple et rassurer l'utilisateur quant à la prise en main, l'interaction est intuitive et ne nécessite pas d'assistant, aide ou tutoriel.

Digisthésia (fig. 19)



- ✓ Contraste entre les zones interactives et le fond d'écran
- ✓ Délimitation des zones de clic
- ✓ Interaction simple : 4 actions possible d'un seul type (lancer un jeu)

Jeu iPad « Pre-Civilization Marble Age »

Figure 20. Jeu iPad « Pre-Civilization Marble Age »

- ✗ Ecran saturé de couleurs
- ✗ Hétérogénéité des zones interactives : boutons, texte cliquable et icônes
- ✗ Multitude d'interactions : 19 actions possibles de 4 types différents

Homogénéité des jeux

Pour une prise en main rapide de chaque nouveau jeu, nous avons capitalisé sur une même symbolique des couleurs et animations à travers tous les jeux ludo-éducatifs :

- Gris : couleur passive dépourvue d'interactions
- Bleu « *Digisthésia* » : passif, actions neutres (ex. confirmer un message, retour)
- Couleurs vives : interactions principales, effectuer un choix/essai
- Noir : interactions secondaires ou répétitives (ex. faire pivoter)
- Vert : réponse correcte, succès, action à issue positive (ex. suivant, rejouer, etc.)
- Rouge : incorrect, échec, action à issue négative (ex. fermer)

Digisthésia

Figure 21. Retour visuel essais

Figure 22. Partie de Puzzle de niveau 6

- ✓ Homogénéité entre les différents jeux
- ✓ Les éléments interactifs et les zones de clic ne se déplacent pas
- ✓ Utilisation de l'animation pour captiver l'attention sur les éléments importants
- ✓ Retour visuel en temps réel sur la correctitude d'un essai

Jeu iPad « Agricola »

Figure 23. Ecran d'accueil du jeu Agricola

Figure 24. Ecran d'une mission du jeu Agricola

- × Charte de couleurs différente entre différents écrans
- × Ambiguïté des éléments interactifs et manque d'indice visuel des zones de clic
- × Animation d'éléments non-importants (ex. images du fond, objets sans interaction)

Eléments d'aide et textuels

Un autre gap important entre les populations entendante et sourde et malentendante est le niveau de lecture et vocabulaire. Nous avons réduit au minimum les éléments textuels et tout texte d'information ou d'aide contient des mots existant dans le vocabulaire d'un élève sourd ou malentendant âgé d'au moins 11 ans.

Digisthésia

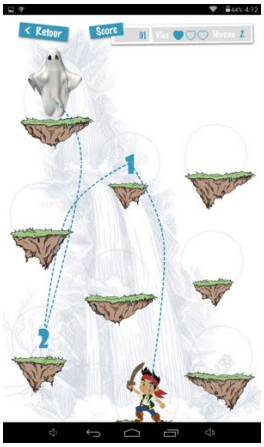


Figure 25. Aide pour Piège de la cascade

Figure 26. Etiquettes des jeux sur l'écran d'accueil

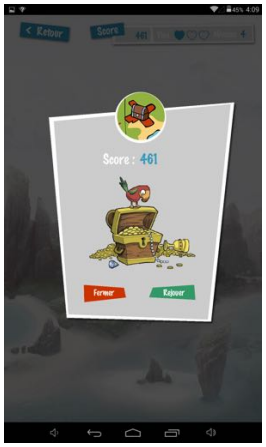


Figure 27. Récapitulatif score final partie

Figure 28. Indications passage de niveau

- ✓ Priorisation de l'aide et indications non-textuelles
- ✓ Utilisation d'une police facilement lisible pour les texte et boutons
- ✓ Messages très courts avec un vocabulaire basique

Figure 29. Jeu Sim Lemonade

Figure 30. Jeu Lemonade Tycoon 2

- × Texte difficilement lisible à cause de la police ou de la taille
- × Aucune différenciation entre les textes informatifs et ceux cliquables (boutons)
- × Vocabulaire comportant des néologismes ou termes abstraits

IV. Exploitation des jeux

Par la suite, nous allons expliquer et détailler chaque jeu ludo-éducatif du logiciel *Digisthésia*.

A. Le jeu ludo-éducatif « La Chasse au trésor »

1. Base théorique

Correspond à l'épreuve « Matrices » du test WISC non-verbal de Wechsler et mesure la fonction de base du fonctionnement cognitif, l'attention des participants.

Des nombreuses recherches ont indiqué une influence importante de l'attention sur la vie sociale ainsi que sur la vie scolaire des élèves. La plupart des travaux ont pointé un impact déterminant des difficultés attentionnelles sur les apprentissages scolaires. Par conséquent, l'attention est une fonction cognitive avec un rôle central dans la résolution de tâches et de problèmes. Elle se trouve parmi les autres fonctions cognitives importantes comme la mémoire, le langage, les fonctions exécutives, les praxies, le calcul et les gnosies.

Les travaux de Posner (1971 ; 1987) en ont distingué quatre composantes : l'alerte, l'attention divisée, l'attention sélective et l'attention soutenue. D'après Posner (1971 ; 1978), l'alerte est définie comme « l'état général d'éveil de la personne et sa disposition à traiter et à réagir aux stimulations extérieures »[75] (Noël, 2007, p. 97). L'attention sélective est définie comme la sélection et le traitement d'un stimulus ou de plusieurs stimuli particuliers parmi l'ensemble des stimulations de l'environnement. La suivante, l'attention divisée, décrit la « capacité à repartir ses ressources attentionnelles entre plusieurs tâches ou plusieurs sources d'information » (Noël, op. cit., p. 98). Ensuite, l'attention soutenue est définie comme la mobilisation durable des ressources attentionnelles.

Pour conclure, il est essentiel de souligner que, parfois, les troubles attentionnels peuvent éclairer l'échec et les non-réussites de l'enfant à l'école. Par exemple, il peut omettre des questions et des mots importants dans une consigne donnée par le professeur, ne pas porter attention qu'à la première moitié d'une question, etc. En général, l'élève a la tendance d'éviter à réaliser les tâches qui demandent une attention soutenue et préfère les activités ludiques qui ne demandent pas un effort mental soutenu.

75 Pour trouver plus d'informations, consultez : Noël, M. P. (2007). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Editions Mardaga

2. *Mode de fonctionnement*

Dans la conception du jeu « La chasse au trésor » nous avons dû prendre en compte plusieurs contraintes de différentes natures. L'objectif premier était de créer un jeu qui soit en phase avec le fonctionnement du subtest « Matrices » de la WNV. Il fallait donc que le jeu mette en œuvre des caractéristiques homologues aux principales caractéristiques du subtest. Nous avions noté qu'il fallait mettre en place des mécanismes ressemblants pour :

- Mode de fonctionnement : on montre au sujet une matrice fixée d'images dont une est manquante et lui donnons un choix à faire entre 4 autres images ;
- Objectif: reconstituer de mémoire la matrice montrée ;
- L'évaluation : une note est donnée si la réponse est correcte. Le temps de réflexion est pris en compte.

Figure 31. Démarrage tour de niveau 6

Figure 32. Réponses correctes et erronées

Compte tenu des 3 exigences d'en-dessus nous avons spécifié la cinématique suivante :

- Le sujet lance le jeu, il commence toujours au premier niveau de difficulté avec 3 « vies » (nombre d'erreurs qu'il peut commettre) ;

- Sur la zone centrale de l'écran on retrouve une matrice de tuiles. La dimension de la matrice (et implicitement le nombre de tuiles) augmente avec le niveau de difficulté ;
- Sur la matrice plusieurs tuiles sont tournées et présentent différents symboles. Le nombre de tuiles qui sont tournées augmente avec le niveau de difficulté ;
- Après un temps de 2 secondes, les tuiles avec symbole se retournent et les symboles sont cachés ;
- L'objectif est de cliquer sur les tuiles qui avaient des symboles. A chaque essai correct, le score augmente ;
- Si le sujet clique sur une tuile sans qu'il y ait de symbole derrière, il perd une vie. En plus même s'il arrive toutefois à retrouver tous les symboles sans perdre les 3 vies, le prochain tour se fera au même niveau ;
- Pour passer au niveau supérieur, le sujet doit retrouver tous les symboles sans aucun essai erroné ;
- Afin d'éviter un impact émotionnel négatif, il n'y a pas de points retirés en cas d'erreur.

Un point important à noter serait que le nombre de points gagnés pour une tuile correctement trouvée est plus important si elle a le même symbole que la tuile retournée précédente (ex. pour 3 tuiles avec 2 symboles A et B, le fait de les retourner dans l'ordre A ➔ B ➔ B ou B ➔ B ➔ A apportera plus de points que si le sujet les avait retournées dans l'ordre B ➔ A ➔ B. Cette mécanique change du coup la nature du jeu et met l'accent sur le raisonnement fluide, le raisonnement perceptif et les processus simultanés plutôt qu'uniquement sur la mémoire. Cela nous permet donc de nous rapprocher de la logique du subtest « Matrices » de l'échelle WNV.

Afin de remplir notre objectif d'outil d'amélioration des capacités cognitives, nous avons conçu ce jeu avec 15 niveaux de difficulté. Cette montée en difficulté en douceur (par rapport aux autres jeux qui n'ont que 5 niveaux de difficulté) permettrait aux sujets de s'améliorer progressivement car les capacités cognitives mises en œuvre par la « Chasse au trésor » sont assez variées. Voici les différentes conditions d'évolution et fin du jeu:

- Condition de montée en niveau : lors d'un tour au niveau de difficulté N, le sujet doit retrouver sans faire d'erreur les N+1 tuiles qui sont reparties sur la matrice suivant une séquence préétablie. La séquence est choisie aléatoirement au démarrage du tour parmi plusieurs séquences qui sont les mêmes pour tous les sujets ;
- Condition de fin de type « échec » : Quand l'utilisateur perd ses 3 vies, le jeu s'arrête. La perte d'une vie correspond à un clic sur une des tuiles ne cachant pas de symbole. A noter qu'il s'agit aussi d'une mesure afin de minimiser la réussite d'une tactique comme le clic aléatoire sur les tuiles ;

- Condition de fin de type « réussite » : si le sujet arrive à retrouver tous les symboles du 13ème niveau alors il a « gagné » le jeu. Une fenêtre de félicitations s'affiche avec le score obtenu.

3. Consignes

En plus du parallélisme avec le subtest « Matrices » de l'échelle WNV, nous devions aussi nous assurer d'une cohérence avec la scénarisation de *Digisthésia* : il fallait que le jeu rentre graphiquement et conceptuellement dans l'univers choisi. La façon dont nous allions le présenter aux sujets allait impacter son appétence et implicitement l'adhésion des sujets au jeu. Voici l'extrait des consignes de présentation portant sur le scénario :

Les pirates nous ont joué un tour. Ils ne veulent pas qu'on arrive sur l'île où il y a le trésor, du coup ils ont caché toutes nos armes et notre équipement. Il faut les retrouver avant de continuer vers l'île.

En guise d'items de démonstration, nous accompagnons le sujet sur 2 parties de test. Lors de la première partie, nous expliquons le fonctionnement et l'objectif du jeu et nous faisions 1 choix correct et 1 choix erroné afin de montrer le résultat de la perte des vies. Dans la deuxième partie, on laisse le sujet manipuler et on l'aide à passer au 2ème niveau afin de lui exemplifier le fait que la matrice est plus grande et que la séquence de symboles à retrouver est plus longue. Lors de ce deuxième niveau on exemplifie aussi la différence de scores si les mêmes symboles sont retournés à la suite.

Les résultats de ces 2 parties ont été écartés avant l'analyse des résultats.

4. Cotation

Toujours dans une démarche de cohérence avec le subtest « Matrices » de la WNV, nous avons créé une logique de cotation qui dépend des 3 principaux paramètres pris en compte par le subtest : le nombre d'essais corrects, le niveau de difficulté de l'essai et le temps de réflexion pour chaque essai.

Comme expliqué, chaque essai correct ajoute des points au score final. Les niveaux de difficulté agissent comme des paliers de score et le temps de réflexion comme un bonus inversement proportionnel au temps de réflexion en millisecondes. Le fait d'avoir retourné des symboles en série ajoute un bonus qui est directement proportionnel à la longueur de la série. La proportionnalité de ces bonus fait qu'un sujet qui suit de plus près la consigne (priorité à indiquer les tuiles du même symbole en séries) aura un score plus important, ce qui renforce le rapprochement de la logique de cotation du subtest « Matrices » de l'échelle WNV.

Les différentes stratégies de cotation font que lors des divers calculs statistiques et application de tests, l'ordre des cotations des essais et implicitement la valeur du score final auront une relevance quantitative : plus le score est élevé plus le sujet a eu une meilleure performance au jeu. En plus, cette logique de paliers de score et bonus en fonction de la performance nous ouvre la porte vers des études qualitatives (ex. comparaison des performances des sujets qui ont compté plus sur la vitesse de réponse que sur le suivi des consignes).

5. Niveaux et séquences

D'un point de vue conceptuel, pour chaque niveau il y a plusieurs paramètres qui changent et qui introduisent une complexité croissante. Dans le cas du jeu « Chasse au trésor » ces facteurs sont :

- Taille de la matrice ;
- Longueur de la séquence de symboles à retrouver ;
- Probabilité de répétition des symboles.

Nous aurions aussi pu introduire un degré de complexité additionnel en réduisant le temps d'affichage initial des symboles à retrouver, mais nous avons considéré que ce serait un élément perturbateur qui éloignerait les scores de la stratégie de cotation du subtest « Matrices » de la WNV.

En ce qui concerne les séquences, lors du développement des jeux nous avons mis en place une série de séquences préétablies et identifiées. Dans les données recueillies nous avons donc l'historique exact de la séquence que le sujet devait retrouver et les essais corrects et erronés. En ce qui concerne le nombre de séquences, par rapport aux autres jeux, la « Chasse au trésor » a la volumétrie la plus importante de possibilités. Rien qu'au niveau 5 il y a 2.496.144 possibilités. Nous avons choisi une volumétrie moins importante sans proportionnalité avec le niveau de difficulté. Comme la séquence n'indiquait que la position des tuiles à retourner, les symboles étaient choisis aléatoirement au début de chaque tour. Cela fait qu'en variabilité des parties uniques possibles on a une proportionnalité exponentielle avec le nombre de symboles différents (7) et la longueur de la séquence.

Tableau 4. Principales caractéristiques numériques du jeu « La chasse au trésor »

					Scores maximum	
Niveau	Largeur matrice	Hauteur matrice	Tuiles à retenir	Séquences uniques	Théorique pour niveau de fin	Obtenus par les sujets
1	2	2	2	6	208	72
2	3	3	3	10	352	145
3	4	3	4	10	608	309
4	4	4	5	10	1008	698

5	5	4	6	10	1584	1199
6	5	5	7	10	2368	1701
7	6	5	8	10	3392	3048
8	6	6	9	10	4688	4197
9	6	6	10	10	6288	5880
10	6	6	11	10	8224	7231
11	6	6	12	10	10528	7746
12	6	6	13	10	13232	10014
13	6	6	14	10	16368	12041

B. Le jeu ludo-éducatif « Débarquement »

1. Base théorique

Ce jeu éducatif correspond à l'épreuve « Code » du test WISC non-verbal de Wechsler et évalue la vitesse de traitement de l'information ainsi que la mémoire immédiate.

Les nombreux travaux dans le domaine de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie ont pointé le rôle de la vitesse de traitement dans le fonctionnement cognitif de la personne. Par ailleurs, la vitesse de traitement joue un rôle essentiel dans la performance de la lecture, dans le raisonnement de la personne ainsi que dans l'utilisation efficace de la mémoire de travail. Les trois indices (la mémoire de travail, la vitesse de traitement et le raisonnement) se trouvent dans une relation d'interdépendance et de dynamisme. La vitesse de traitement a aussi le but de diminuer la charge cognitive ainsi que de faciliter le raisonnement de la personne. La littérature de spécialité (Mayes et Calhoun, 2006 ; Prifitera et Dersch, 1993 ; Wechsler, 2005a) a démontré que l'indice de la vitesse de traitement est un indicateur valide des troubles de l'attention et de la concentration et que les sujets qui sont diagnostiqués comme souffrant des troubles de l'attention, obtient des scores très faibles à cet item.

2. Mode de fonctionnement

Dans la conception du jeu « Débarquement » nous avons dû prendre en compte plusieurs contraintes de différentes natures. L'objectif premier était de créer un jeu qui soit en phase avec la cinématique du subtest vitesse de traitement de l'échelle WNV. Il fallait donc que le jeu mette en œuvre des caractéristiques homologues aux principales caractéristiques du test. Nous avions noté qu'il fallait mettre en place des mécanismes ressemblants pour :

- Mode de fonctionnement : on commence par présenter au sujet le code, qui pour la WNV est la correspondance entre les chiffres de 1 à 9 et des symboles ;
- Objectif: le but est de faire reconnaître au sujet une série de « codes » dans un temps limité ;

- L'évaluation : une note est donnée en fonction du nombre de réponses correctes que le sujet a pu renseigner dans le temps imparti.

Figure 33. Tour de niveau 1

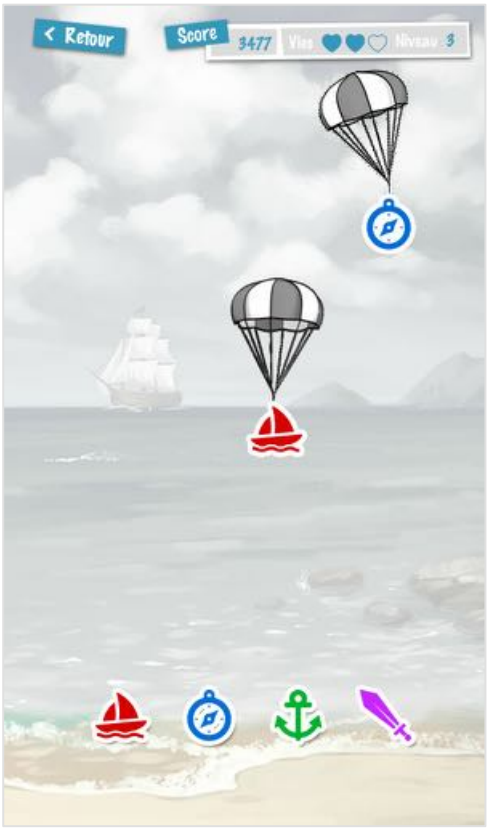


Figure 34. Tour de niveau 3

Compte tenu des 3 exigences d'en-dessus nous avons spécifié la cinématique suivante :

- Le sujet lance le jeu, il commence toujours au premier niveau de difficulté avec 3 vies (nombre d'erreurs qu'il peut commettre) ;
- Sur la zone basse de l'écran on retrouve plusieurs symboles dont le nombre diffère de 2 à 6, en fonction du niveau de difficulté ;
- Lors de chaque tour, les mêmes symboles qu'en bas tombent du haut de l'écran (accrochés à des parachutes). La vitesse des parachutes augmente avec la montée en niveau. En plus, le temps d'attente entre l'apparition de deux parachutes est aléatoire entre 100 et 500 millisecondes ;
- L'objectif est de cliquer sur les symboles d'en bas (qui sont en fait des boutons) afin de faire disparaître les parachutes portant les mêmes symboles. Si plusieurs parachutes ont le même symbole avec le bouton cliqué, ils vont tous disparaître ;
- A chaque clic correcte, le score augmente ;
- Si le sujet n'arrive pas à faire disparaître un parachute avant qu'il touche le bas de l'écran, il perd une vie ;

- Si le sujet clique sur un bouton sans qu'il y ait de parachute avec le symbole cliqué, il perd une vie ;
- Afin d'éviter un impact émotionnel négatif, il n'y a pas de points retirés au cas d'erreur. Cela évite aussi le cas limite de jeu sans aucun essai ou qu'avec des essais erronés où le score serait négatif.

En contraste avec l'application du subtest « Code » de la WNV, nous avons décidé de ne pas imposer un temps limite au sujet. Notre objectif est de permettre aux sujets d'améliorer leurs performances cognitives, ce qui dans la perspective d'un jeu serait d'arriver à des niveaux de difficulté de plus en plus élevés. Nous avons conçu ce jeu avec 5 niveaux de difficulté. Du coup nous avons dû mettre en place des conditions de sortie/arrêt du jeu en fonction d'autres événements :

- Condition de montée en niveau : Lors d'un tour au niveau de difficulté N, le sujet doit résoudre correctement la séquence qui a une longueur de N+1 éléments. La séquence est choisie aléatoirement au démarrage du tour. Au bout de 3 tours gagnés au même niveau, le sujet passe au prochain niveau de difficulté ;
- Condition de fin de type « échec » : Quand l'utilisateur perd ses 3 vies, le jeu s'arrête. La perte d'une vie correspond à une clique sur un des boutons symboles sans qu'un parachute ayant le même symbole soit présent. C'est aussi une solution afin de minimiser la réussite d'une tactique comme clique sur tous les boutons, ou clic aléatoire sans avoir vu les parachutes.
- Condition de fin de type « réussite » : si le sujet arrive à faire 3 tours corrects au dernier niveau de difficulté, alors il a « gagné » le jeu. Une fenêtre de félicitations s'affiche avec le score obtenu.

3. Consignes

En plus du parallélisme avec le subtest « Code » de la WNV, nous devions aussi nous assurer d'une cohérence avec la scénarisation de *Digisthésia* : il fallait que le jeu rentre graphiquement et conceptuellement dans l'univers choisi. La façon dont nous allions le présenter aux sujets allait impacter son appétence et implicitement l'adhésion des sujets au jeu. Voici l'extrait des consignes de présentation portant sur le scénario :

> *A l'aide de la carte tu as pu naviguer jusqu'à l'île où les pirates ont caché le trésor. Comme il y a plein de rochers dans l'eau il faut envoyer les bagages sur la plage à l'aide de parachutes.*

En guise d'items de démonstration, nous faisions 2 parties de test avec le sujet. Lors de la première partie, nous expliquons le fonctionnement et l'objectif du jeu et nous faisions plusieurs choix corrects et 3 choix erronés afin de montrer le résultat de la perte

des vies. Dans la deuxième partie, on laissait le sujet manipuler et on l'aidait à passer au 2ème niveau afin de lui exemplifier le fait que lors de la montée en niveau, le choix de symboles est plus important et qu'il y a plus de parachutes que pour le niveau précédent.

Les résultats de ces 2 parties ont été écartés avant l'analyse des résultats.

4. Cotation

Toujours dans une démarche de cohérence avec le subtest « Code » de la WNV, nous avons créé une logique de cotation qui dépend des 3 principaux paramètres pris en compte par le subtest: le nombre d'essais corrects, le niveau de difficulté de l'essai et le temps de réflexion pour chaque essai.

Comme expliqué, chaque essai correct ajoutait des points au score final. Les niveaux de difficulté agissent comme des paliers de score et le temps de réflexion comme un bonus. Si on prend par exemple deux essais de niveau N, celui qui a été réalisé plus rapidement aura une cotation plus importante. Le score maximum (réaction instantanée) d'un essai à un niveau N ne dépassera pas le score d'un essai de niveau N+1 avec un mauvais temps de réaction (0 points de bonus).

Cela implique que lors de différents calculs statistiques et application de tests, l'ordre des cotations des essais et implicitement la valeur du score final aura une relevance quantitative : plus le score est élevé plus le sujet a eu une meilleure performance au jeu. En plus cette logique de paliers de score et bonus en fonction de la performance nous ouvre la porte vers des études qualitatives (ex. corrélations par rapport aux temps de réflexion).

5. Niveaux et séquences

D'un point de vue conceptuel, pour chaque montée en niveau il y a plusieurs paramètres qui changent et qui introduisent une complexité croissante. Dans le cas du jeu « Débarquement » ces facteurs sont :

- Nombre de symboles différents ;
- Longueur de la séquence de symboles à résoudre ;
- Vitesse de déplacement des symboles (et implicitement la durée de temps de réponse maximum pour un essai).

En ce qui concerne les distributions, lors du développement des jeux nous avons mis en place une série de séquences préétablies et identifiées. Dans les données recueillies nous avons donc l'historique exact de la séquence que le sujet devait retrouver et les essais corrects et erronés. En ce qui concerne le nombre de séquences, nous n'avons pas mis en

place le nombre maximum (qui au niveau 5 est de 5040). Nous avons choisi une volumétrie moins importante (directement proportionnelle au niveau de difficulté) qui nous permettrait éventuellement de faire des études d'analyse qualitatives comme d'étudier les séquences qui ont été les plus difficiles (qui ont été résolues le moins de fois par rapport au nombre de fois où elles ont été jouées).

Tableau 5. Principales caractéristiques numériques du jeu « Débarquement »

				Scores maximum	
Niveau	Symboles	Longueur séquence	Séquences uniques	Théorique pour niveau de fin	Obtenu par les sujets
1	2	3	5	1000	208
2	3	4	10	3500	3215
3	4	5	15	5500	5340
4	5	6	20	8500	7822
5	6	7	25	12000	11047

C. Le jeu ludo-éducatif « Piège de la cascade »

1. Base théorique

Le jeu pédagogique « Piège de la cascade » correspond à l'épreuve « Mémoire spatiale » de l'échelle WNV de Wechsler et compte à mesurer la mémoire spatiale ainsi que la mémoire de travail des participants.

Les compétences visuo-spatiales jouent un rôle important dans des multiples apprentissages. Les nombreuses recherches ont pointé que les enfants présentant des troubles visuo-spatiaux ont des retards dans les acquisitions des certaines disciplines scolaires comme, par exemple, l'écriture, la géométrie, le dessin, la représentation du nombre, la lecture de plan et des cartes géographiques, etc. Pour Koviljka Barisnikov et Roxanne Pizzo (2007) qui ont cité les études de Newcombe et Ratcliff (1989) et celles de Cronin-Golomb et Braun (1997), le concept d'aptitude visuo-spatiale comprend plusieurs compétences différentes comme les « compétences de localisation, d'orientation, d'attention et de mémoire spatiale, ainsi que les capacités à réaliser des rotations mentales, à comprendre les relations entre les objets, à recopier ou à construire un modèle, ou encore à élaborer des représentations topographiques » (Noël, 2007, p. 140).

2. Mode de fonctionnement

Dans la conception du jeu « Piège de la cascade » nous avons dû prendre en compte plusieurs contraintes de différentes natures. L'objectif premier était de créer un jeu qui soit en phase avec la cinématique du sous-test « Mémoire spatiale » de la WNV. Il fallait

donc que le jeu mette en œuvre des caractéristiques homologues aux principales caractéristiques du test. Nous avions noté qu'il fallait mettre en place des mécanismes ressemblants pour :

- Mode de fonctionnement : sur un plateau sont disposés plusieurs cubes identiques. Le psychologue touche successivement des cubes dans un ordre préétabli ;
- Objectif: le sujet doit reproduire la séquence montrée par le psychologue dans le même ordre ;
- L'évaluation : une note est donnée en fonction du nombre de réponses correctes que le sujet a pu renseigner.

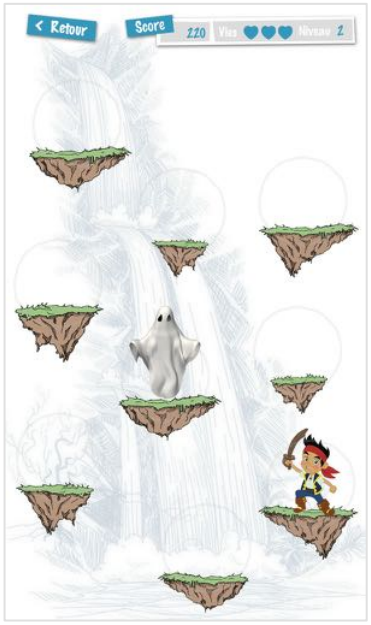


Figure 35. Démarrage tour

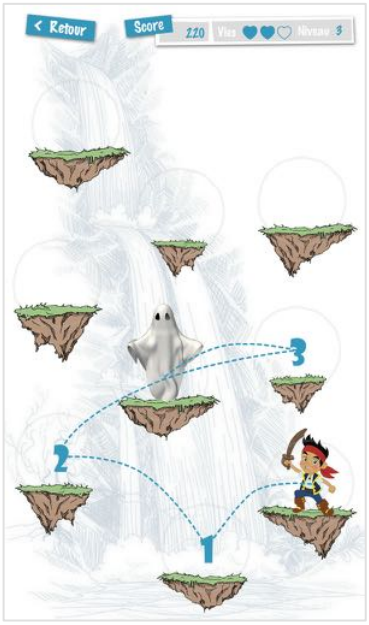


Figure 36. Rappel trajet au niveau 3

Compte tenu des 3 exigences d'en-dessus nous avons conçu la cinématique suivante :

- Le sujet lance le jeu, il commence toujours au premier niveau de difficulté avec 3 vies (nombre d'erreurs qu'il peut commettre) ;
- Sur l'écran sont présentés 9 plateformes immobiles, un fantôme sur une des plateformes et un personnage représentant la position actuelle du sujet en bas de l'écran ;
- Lors de chaque tour, le fantôme se déplace sur une autre plateforme. Si le sujet vient de passer à un niveau supérieur, au lieu de se déplacer d'une seule plateforme, le fantôme fait deux déplacements successifs ;
- L'objectif est de reproduire le trajet du fantôme en cliquant sur la dernière plateforme qu'il occupait. Comme lors du passage à un niveau supérieur le fantôme se déplace deux fois, cela implique que le sujet va être de plus en plus en

retard par rapport aux déplacements du fantôme. Au niveau N le sujet sera donc décalé de N pas en retard par rapport à la position actuelle du fantôme ;
- A chaque clic sur la plateforme correcte, le score augmente ;
- Si le sujet clique sur une plateforme erronée il perd une vie. Afin de permettre au sujet de continuer, on affiche un rappel de trajet du fantôme en numérotant les plateformes par lesquelles le fantôme est passé, dans l'ordre du passage ;
- Afin d'éviter un impact émotionnel négatif, il n'y a pas de points retirés au cas d'erreur. Cela évite aussi le cas limite de jeu sans aucun essai ou qu'avec des essais erronés où le score serait négatif.

A noter que cette cinématique impose des contraintes sur le trajet du fantôme : dans son trajet il ne peut pas passer 2 fois par le même plateforme. Cette contrainte est parfaitement en phase avec la logique des séquences du subtest « Mémoire spatiale » de la WNV : des séquences de maximum 9 cubes distincts. Pour le passage de ce sous-test les cubes sont placés sur un plateau d'une dimension A3 (30x42cm). Du fait de la taille écran de la tablette (autour d'un A5, soit 15x21cm) nous avons fait des différents tests d'ergonomie et n'avons pas pu dépasser 9 plateformes. Nous avons donc pu mettre en place un nombre maximum de 6 niveaux car :

- Il y a 9 plateformes disponibles ;
- Au niveau maximum, 6 plateformes sont inutilisables car font déjà partie du trajet du fantôme ;
- une plateforme est occupée par le fantôme avec sa position actuelle ;
- une plateforme est occupée par le personnage ;
- il nous reste donc 1 plateforme disponible pour le prochain déplacement du fantôme.

Cependant, lors de différents tests préliminaires nous avons observé qu'au-delà du 4ème niveau, la taille réduite de l'écran impactait les performances des testeurs. Nous avons donc décidé de ne prévoir que 4 niveaux pour ce jeu.

Le jeu n'a pas de limitation de temps, nous avons donc dû mettre en place des conditions de sortie/arrêt du jeu en fonction d'autres événements :

- Condition de montée en niveau : La séquence de déplacement du fantôme est choisie aléatoirement au démarrage du tour. Au bout de 3 tours successifs gagnés, le sujet passe au prochain niveau de difficulté.
- Condition de fin de type « échec » : Quand l'utilisateur perd ses 3 vies, le jeu s'arrête. La perte d'une vie correspond à un clic sur une plateforme différente de la dernière plateforme du trajet effectué par le fantôme.

- Condition de fin de type « réussite » : si le sujet arrive à faire 3 tours corrects au dernier niveau de difficulté (4), alors il a « gagné » le jeu. Une fenêtre de félicitations s'affiche avec le score obtenu.

3. Consignes

En plus du parallélisme avec le subtest « Mémoire spatiale » de la WNV, nous devions aussi nous assurer d'une cohérence avec la scénarisation de *Digisthésia* : il fallait que le jeu rentre graphiquement et conceptuellement dans l'univers choisi. La façon dont nous allions le présenter aux sujets allait impacter son appétence et implicitement l'adhésion des sujets au jeu. Voici l'extrait des consignes de présentation portant sur le scénario :

Sur le chemin vers le trésor nous avons rencontré une cascade. Heureusement que le fantôme sympa d'un ancien chasseur de trésors veut nous aider en nous montrant la route pour remonter la cascade. Suivons le fantôme, le trésor n'est pas loin.

En guise d'items de démonstration, nous faisions 2 parties de test avec le sujet. Lors de la première partie, nous expliquons le fonctionnement et l'objectif du jeu et nous faisions 2 choix corrects et 1 choix erroné afin de montrer comment on se sert du rappel du trajet du fantôme. Puis encore 2 choix erronés pour montrer le résultat de la perte des vies. Dans la deuxième partie, on laissait le sujet manipuler et on l'aidait à passer au 2ème niveau afin de lui exemplifier le fait que maintenant il a un pas de plus de retard par rapport aux déplacements du fantôme.

Les résultats de ces 2 parties ont été écartés avant l'analyse des résultats.

4. Cotation

Toujours dans une démarche de cohérence avec le subtest « Mémoire spatiale » de la WNV, nous avons créé une logique de cotation qui dépend des 2 principaux paramètres pris en compte par le subtest: le nombre d'essais corrects et les niveaux de difficulté des essais. Nous avons aussi décidé d'ajouter le temps de réaction du sujet comme facteur impactant le score.

Comme expliqué auparavant, chaque essai correct ajoutait des points au score final. Les niveaux de difficultés agissent comme des paliers de score et le temps de réflexion comme un bonus. Si on prend par exemple deux essais de niveau N, celui qui a été réalisé plus rapidement aura une cotation plus importante. Le score maximum (réaction instantanée) d'un essai à un niveau N ne dépassera pas un essai de niveau N+1 avec un

temps de réaction dépassant 5 secondes (0 points de bonus). La formule du score d'un essai est :

score_essai = 10 x niveau_difficulté + maximum(0 ; 5 – temps_de_refexion_en_s)

Cela implique que lors de différents calculs statistiques et application de tests, l'ordre des cotations des essais et implicitement la valeur du score final aura une relevance quantitative : plus le score est élevé plus le sujet a eu une meilleure performance au jeu. En plus, cette logique de paliers de score et bonus en fonction de la performance nous ouvre la porte vers des études qualitatives (ex. corrélations par rapport aux temps de réflexion).

5. Niveaux et séquences

D'un point de vue conceptuel, pour chaque niveau le seul paramètre qui change et qui introduit une complexité croissante est le nombre de pas de retard sur le déplacement du fantôme.

En ce qui concerne les séquences, lors du développement des jeux nous avons mis en place un nombre de séquences préétablies et identifiées pour tous les sujets. Dans les données recueillies, nous avons donc l'historique exact de la séquence que le sujet devait retrouver et les essais corrects et erronées. En ce qui concerne le nombre des séquences, nous n'avons pas mis en place le nombre maximum (qui au niveau 4 est de 81). Nous avons choisi une volumétrie moins importante qui nous permettrait l'éventualité de faire des études d'analyse qualitative comme étudier les séquences qui ont été les plus difficiles (qui ont été résolues le moins de fois par rapport au nombre de fois où elles ont été jouées).

Tableau 6. Principales caractéristiques numériques du jeu « Piège de la cascade »

			Scores maximum	
Niveau	Longueur séquence	Séquences uniques	Théorique pour niveau de fin	Obtenus par les sujets
1	2	9	161	86
2	3	6	495	323
3	4	6	1062	784
4	5	12	1922	1678

D. Le jeu ludo-éducatif « Puzzle »

1. Base théorique

Le dernier jeu éducatif du logiciel *Digisthésia*, le « Puzzle » fait appel à la résolution des problèmes des participants et correspond à l'épreuve « Arrangement d'images » de l'échelle non-verbale de Wechsler.

La capacité de résolution des problèmes permet à l'homme de surmonter au quotidien les problèmes posés par le travail, la vie de famille, etc. Une situation de résolution de problème, consiste à réaliser une tâche pour laquelle on ne dispose pas immédiatement d'une procédure permettant d'atteindre le but escompté. Ainsi, il y a résolution de problème quand :

- la situation est inconnue, et qu'elle n'avait jamais été rencontrée auparavant ;
- la situation est connue, mais la procédure pour y faire face est inconnue ;
- la situation est connue, la procédure est connue, mais on ne sait pas comment organiser ces connaissances pour atteindre le but.

Mahoney (1977) décrit sept étapes nécessaires à une bonne résolution de problème :

- spécification du problème ;
- sélection des informations ;
- identification des causes ;
- examen des options ;
- mise en adaptation des choix et de la pratique ;
- comparaison des données ;
- extension, révision, remplacement des solutions.

En 1994, McCarthy et Warrington décrivent les différents aspects de la résolution de problème, c'est-à-dire les processus exécutifs impliqués et nécessaires à chaque étape de celle-ci :

- l'attention : la capacité à analyser l'environnement, la concentration et l'attention sélective ;
- les inférences abstraites : extraire les données pertinentes du problème ;
- l'élaboration de stratégies ;
- la flexibilité cognitive : pouvoir changer de stratégie en fonction des feedbacks de l'environnement ;
- l'évaluation des résultats.

La résolution de problème serait donc une capacité exécutive, sous le contrôle de différents processus.

2. *Mode de fonctionnement*

Dans la conception du jeu « Puzzle » nous avons dû prendre en compte plusieurs contraintes de différentes natures. L'objectif premier était de créer un jeu qui soit en phase avec la cinématique du subtest « Arrangement d'images » de la WNV. Il fallait donc que le jeu mette en œuvre des caractéristiques homologues aux principales caractéristiques du test. Nous avions noté qu'il fallait mettre en place des mécanismes ressemblants pour :

- Mode de fonctionnement : on fournit au sujet une série d'images présentées dans le désordre ;
- Objectif: le sujet réordonne les images afin qu'elles constituent une suite cohérente en un temps donné ;
- L'évaluation : une note est donnée en fonction tu temps de réflexion que le sujet a mis pour réordonner les images.

Figure 37. Démarrage tour de niveau 4

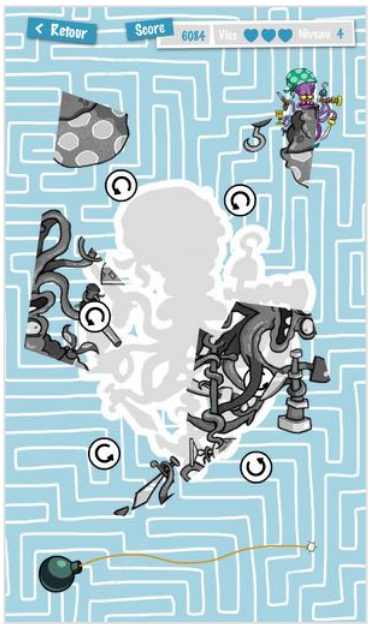


Figure 38. Avancement tour de niveau 4

Figure 39. Finalisation tour de niveau 4

Compte tenu des 3 exigences de d'en-dessus nous avons conçu la cinématique suivante :

- Le sujet lance le jeu, il commence toujours au premier niveau de difficulté avec 3 « vies » ;

- Sur la zone supérieure droite de l'écran se trouve une vignette rappelant l'image à reconstituer. Sur la zone inférieure se trouve un chronomètre dans la forme d'une bombe avec un fusible qui brûle ;
- Sur la zone centrale se trouvent plusieurs pièces de puzzle qui sont arrangés aléatoirement. Les pièces sont aussi tournées d'un, deux ou trois quarts de tour. Dans la même zone on trouve aussi un contour gris indiquant la zone où le puzzle devra être reconstruit.
- Le sujet peut déplacer les pièces en les glissant-déposant. Il peut aussi faire pivoter les pièces de 90° avec un bouton qui est présent sur chaque pièce ;
- L'objectif est de tourner et de déplacer les pièces afin de reconstituer l'image complète indiquée par le tracé gris. Lors d'un déplacement correct le score est augmenté, la pièce devient immobile et un indice visuel (coche verte) apparaît à la place de l'icône du bouton de rotation ;
- Si le sujet repositionne correctement toutes les pièces du niveau courant, il passe au niveau supérieur. Lors de ce passage, l'image à reconstituer est changée et elle est découpée en plus de pièces (au niveau N il y a N+2 pièces) ;
- Si le fusible du bas de l'écran brûle complétement, le sujet perd une vie. A chaque placement correct de pièce le chronomètre est relancé et le fusible regagne sa taille initiale ;
- Afin d'éviter un impact émotionnel négatif, il n'y a pas de points retirés en cas d'erreur. Cela évite aussi le cas limite de jeu sans aucun essai ou qu'avec des essais erronés où le score serait négatif.

Notre objectif est de permettre aux sujets d'améliorer leurs performances cognitives, ce qui dans la perspective d'un jeu se traduit par arriver à des niveaux de difficulté de plus en plus élevés. Du fait de la taille écran de la tablette nous avons fait des différents tests d'ergonomie et n'avons pas pu dépasser 6 pièces. En-dessous cette valeur les zones de clique sont trop petites pour qu'elles soient manipulées sans frustration. Nous avons donc prévu 4 niveaux de difficulté.

Bien qu'un essai ait un temps maximum, il n'y a pas de temps global maximum pour le jeu, surtout si le sujet positionne toujours une pièce avant que le temps soit écoulé. Nous avons donc mis en place des conditions de sortie/arrêt du jeu en fonction d'autres événements :

- Condition de montée en niveau : Lors d'un tour au niveau de difficulté N, le sujet doit positionner correctement les pièces qui sont en nombre de N+2. Lors du positionnement de la dernière pièce le jeu passe au prochain niveau de difficulté. L'image à reconstruire est choisie aléatoirement au démarrage du tour à partir d'un nombre d'images préétablies ;

- Condition de fin de type « échec » : Quand l'utilisateur perd ses 3 vies, le jeu s'arrête. La perte d'une vie correspond au dépassement du temps de réflexion pour le positionnement d'une pièce ;
- Condition de fin de type « réussite » : si le sujet arrive à reconstruire successivement 3 images au dernier niveau de difficulté, alors il a « gagné » le jeu. Une fenêtre de félicitations s'affiche avec le score obtenu.

3. Consignes

En plus du parallélisme avec le subtest « Arrangement d'images » de la WNV, nous devions aussi nous assurer d'une cohérence avec la scénarisation du logiciel *Digisthésia*. Voici l'extrait des consignes de présentation portant sur le scénario :

Nous sommes arrivés enfin au bout de notre voyage. Une fois qu'on aura résolu la dernière épreuve des pirates, on pourra enfin remporter le trésor.

En guise d'items de démonstration, nous faisions 2 parties de test avec le sujet. Lors de la première partie, nous expliquons le fonctionnement et objectif du jeu et nous faisions plusieurs placements corrects. Nous laissons aussi expirer le temps de réflexion 1 fois afin de montrer le résultat de la perte des vies. Dans la deuxième partie, on laissait le sujet manipuler et on l'aidait à passer au 2ème niveau afin de lui exemplifier le fait que l'image à reconstituer a changé et qu'il y a plus de pièces à positionner.

Les résultats de ces 2 parties ont été écartés avant l'analyse des résultats.

4. Cotation

Toujours dans une démarche de cohérence avec le subtest « Arrangement d'images » de la WNV, nous avons créé une logique de cotation qui dépend des 3 principaux paramètres pris en compte par le subtest: le nombre d'arrangements corrects, les niveaux de difficulté de l'arrangement et le temps de réflexion requiert.

Comme expliqué antérieurement, pour le jeu « Puzzle » chaque essai correct ajoutait des points au score final. Lors des consignes, nous avions expliqué que pour les pièces nécessitant d'être tournées, si on dépasse le nombre minimum de rotations nécessaires, on gagne moins de points. Nous avons mis en place cette contrainte afin de mieux récompenser les sujets faisant plus attention à leur manipulation et suivant de plus près la consigne.

Concernant le score, les niveaux de difficultés agissent comme des paliers de score et le temps de réflexion comme un bonus. Si on prend par exemple deux essais de niveau N, celui qui a été réalisé plus rapidement aura une cotation plus importante. Le score maximum (réaction instantanée) d'un essai à un niveau N ne dépassera pas un essai de niveau N+1 avec un mauvais temps de réaction (0 points de bonus).

Cela implique que lors de différents calculs statistiques et application de tests, l'ordre des cotations des essais et implicitement la valeur du score final aura une relevance quantitative : plus le score est élevé plus le sujet a eu une meilleure performance au jeu. En plus, cette logique de paliers de score et bonus en fonction de la performance nous ouvre la porte vers des études qualitatives (ex. corrélations par rapport aux temps de réflexion).

5. Niveaux et séquences

D'un point de vue conceptuel, pour chaque niveau il y a plusieurs paramètres qui changent et qui introduisent une complexité croissante. Dans le cas du jeu « Puzzle » ces facteurs sont :

- Nombre de pièces à positionner
- Temps de réflexion pour chaque essai

En ce qui concerne les images, lors du développement des jeux nous avons mis en places 10 images qui étaient choisies aléatoirement. Pour la découpe des pièces nous avons mis en place 3 modèles de découpe pour chaque niveau afin d'ajouter de la variabilité dans l'expérience des sujets. Dans les données recueillies nous avons donc l'historique exact de l'image et du modèle de découpe ainsi que les essais corrects et erronés. Les choix de mise en place nous permettraient l'éventualité de faire des études d'analyse qualitative comme d'étudier les séquences qui ont été les plus difficiles (qui ont été résolues le moins de fois par rapport au nombre de fois où elles ont été jouées).

Tableau 7. Principales caractéristiques numériques du jeu « Puzzle »

			Scores maximum	
Niveau	Nombre pièces	Séquences uniques	Théorique pour niveau de fin	Obtenu par les sujets
1	3	49	500	240
2	4	49	1750	360
3	5	49	4250	1365
4	6	49	13000	11410

V. Procédure

Notre recherche s'est développée en trois étapes principales : une première étape de pré-test, une deuxième étape de test via les jeux *Digisthésia* et une dernière étape de post-test. Par la suite, nous allons décrire et détailler ces 3 étapes.

A. L'évaluation initiale : le WISC Non-Verbal

Avant de commencer notre expérimentation, nous avons testé les sujets afin de voir leur niveau actuel du fonctionnement cognitif. Nous avons aussi évalué l'aptitude cognitive générale de chaque participant à la fin de l'étude dans le but de faire des constats et des comparaisons entre les évolutions personnelles et intra-groupes.

En conséquence, mon premier rendez-vous avec les élèves a eu le but de les faire passer l'échelle de l'intelligence non-verbale de Wechsler et Naglieri (2009). Comme indiqué précédemment, cette échelle évaluait justement le fonctionnement cognitif de la personne. La WNV est la 1ère batterie qui autorise une évaluation non-verbale des capacités cognitives, une évaluation cognitive des sujets ayant des difficultés d'expression du langage ou de compréhension. Elle peut donc être utilisée avec des enfants qui présentent des troubles du langage et de la parole, des capacités linguistiques limitées, une culture différente, des troubles de l'audition (malentendants ou sourds) ou des troubles autistiques. Nous avons choisi la passation du WISC non-verbal justement parce qu'elle contient des épreuves qui ont le but d'évaluer les aptitudes cognitives pour de nombreuses populations particulières, y compris les personnes sourdes et malentendantes.

Il est important de préciser que le contenu et l'administration de ce test sont adaptés aux particularités et aux besoins des personnes sourdes et malentendantes. Par conséquent, la valeur ajoutée de ce test est le fait que les consignes sont données par des images et que nous ne sommes pas obligés d'utiliser le langage oral. Nous pouvons aussi citer comme point positif la possibilité de donner des consignes dans le langage des signes. Il est aussi important de nuancer qu'il n'est jamais demandé aux participants de s'exprimer oralement. Certains auteurs comme Braden et Hannah (1998), Hardy-Braz (2004) et Wechsler (2003) ont beaucoup étudié le cas des personnes sourdes et malentendantes. Ils se sont concentrés surtout sur les directives d'administration pour les sujets sourds et malentendants. Par exemple, dans le cas des participants avec une déficience auditive nous devons prendre en compte « les caractéristiques individuelles, développementales et linguistiques et également le type de placement éducatif ». (Wechsler et Naglieri, 2009, p. 292).

B. Les subtests

Par la suite, nous allons présenter et décrire les particularités de cette échelle non-verbale de Wechsler. La WNV a été traduite en plusieurs langues (anglais, espagnol, chinois, danois ou allemand), mais le plus important pour notre étude est le fait qu'elle a été traduite et validée en langue française et étalonnée sur la population française. Elle peut être administrée de 4 jusqu'à 21 ans et 11 mois. Nous pouvons la trouver sous deux formes : une première forme qui a été conçue pour les enfants de 4 à 7 ans 11 mois et une deuxième forme qui est dédiée aux sujets de 8 à 21 ans et 11 mois. Pour chacune de ces deux formes, il existe une version courte (qui englobe 2 subtests et qui dure environ 20 minutes) et une version longue (avec 4 subtests et une durée d'environ 45 minutes par sujet). La version courte comprend deux tests : « Matrices » et « Reconnaissance » (pour les enfants de 4 à 7 ans 11 mois) et les subtests « Matrices » et « Mémoire spatiale » (pour les sujets de 8 à 21 ans 11 mois).

D'ailleurs, la version longue de la WNV fait appel à 4 subtests : « Matrices », « Code », « Assemblage d'objets » et « Reconnaissance » (pour les sujets de 4 à 7 ans et 11 mois) et pour ceux qui sont plus âgés (de 8 à 21 ans 11 mois), il existe la variante avec des subtests comme : « Matrices », « Code », « Mémoire spatiale » et « Arrangement d'images ». L'analyse des résultats pour chaque variante (longue et courte) se présente sous forme d'une note T à chaque subtest et d'une Note d'Echelle Totale. Cette Note d'Echelle Totale évalue le fonctionnement cognitif de la personne et constitue un très bon indicateur des aptitudes cognitives générales du sujet.

Pour notre étude, nous avons choisi la version longue de l'échelle, la forme destinée aux sujets de 8 à 21 ans 11 mois qui contient les 4 subtests : « Matrices », « Code », « Mémoire spatiale » et « Arrangement d'images ». D'ailleurs, la passation de cette batterie avec chaque sujet a duré environ 45 minutes.

1. Matrices

Le subtest « Matrices » mesure l'aptitude cognitive générale (Naglieri, 1997) et fait référence au raisonnement perceptif et fluide ainsi qu'aux processus simultanés (Naglieri, Das, 2003)[76]. Cette épreuve s'est inspirée du modèle de Matrices de Raven.

Les items de cette épreuve sollicitent la perception visuelle et l'analyse perceptive, les capacités d'association et de différenciation entre les éléments, la démarche catégorielle (abstraction des traits communs et de différences par comparaisons), l'organisation de l'espace (différenciation droite-gauche, haut-bas), la mémoire de travail, la concentration et la flexibilité mentale.

76 Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *WNV: échelle non verbale d'intelligence: manuel.* EPCA, les Éd. du Centre de psychologie appliquée.

Carroll (1993), Mackintosh et Bennett (2005) ont constaté que l'épreuve de « Matrices » évalue aussi l'intelligence visuo-spatiale car la tâche demande une analyse perceptive et des manipulations mentales complexes des formes visuelles. L'intelligence visuo-spatiale est définie comme « la capacité à analyser, encoder et manipuler les formes spatiales » (Grégoire, 2007, p. 187) et aussi comme l'habilité de reconnaître des configurations spatiales, de reproduire un schéma ou un graphique à partir des indices visuels. Elle autorise la conservation, la manipulation et la transformation des images mentales.

Le « facteur g » ou le facteur général comprend toutes les performances cognitives de l'individu. Du point de vue de Spearman, l'intelligence s'expliquerait par l'existence de ce facteur g. Le principe du facteur g a suscité de nombreux débats parmi les chercheurs. Il est toujours présent dans les recherches actuelles mais dans un sens diffèrent de celui de son fondateur. Nous pouvons remarquer que Wechsler a préféré de garder dans ses tests l'acception de Spearman ainsi ses épreuves évaluent une caractéristique cognitive commune : c'est le sens du QI. Toutefois, pour Wechsler le QI n'est pas identique avec le facteur g de Spearman. D'après Wechsler, il y a d'autres éléments qui interviennent dans les opérations intellectuelles de la personne.

Le concept d'intelligence fluide a été introduit par Cattell. Il a maintenu les idées de Spearman sur le facteur g et il a défini l'intelligence fluide comme la capacité d'adaptation à des nouveaux stimuli ainsi que l'habilité d'identifier des nouvelles solutions à des nouveaux problèmes. Le raisonnement fluide porte sur la manipulation des abstractions, des généralisations, des règles et des relations logiques. Il s'agit d'opérations mentales délibérées et contrôlées dont le but est de résoudre de nouveaux problèmes apparus de manière inopinée et de réaliser des tâches qui ne peuvent pas être réalisées par automatismes. En conséquence, il est défini comme la capacité ou l'aptitude à structurer sa pensée et à s'organiser. Les opérations mentales englobent, par exemple, la résolution des problèmes, l'identification de relations, la compréhension des implications, l'extrapolation, la transformation de l'information, la formation des concepts, l'inférence, la vérification des hypothèses, la classification.

Le concept du raisonnement perceptif apparaît dans les travaux de Grégoire (2007) et de Jumel (2008). Les recherches ont indiqué qu'il est en liaison avec le raisonnement fluide ou l'intelligence fluide.

Les recherches de Naglieri et Das (2003) portent sur les processus simultanés. Selon Naglieri et Das (2003), un processus simultané est défini comme un processus qui a le but d'intégrer et d'organiser les stimuli en groupes, dans l'idée de former un tout cohérent. Autrement dit, un processus simultané mesure la capacité à résoudre des problèmes selon une approche globale.

Pour conclure, nous pouvons souligner qu'il y a des corrélations entre l'Indice Raisonnement Perceptif (IRP) et les apprentissages. Par exemple, les performances en lecture et en mathématiques sont légèrement au dessus de la moyenne (0,67 pour les mathématiques et 0,63 pour la lecture).

2. Code

Le suivant subtest de l'échelle WNV, le « Code », mesure aussi la l'aptitude cognitive générale[77]. Plus précisément, il évalue la coordination visuo-motrice, la rapidité grapho-motrice, la mémoire visuelle à court terme ainsi que les capacités attentionnelles. Elle vise la capacité d'acquérir des automatismes. Cette épreuve représente une très bonne mesure du facteur vitesse de traitement (Gs) et en même temps une faible mesure de facteur g (Grégoire, 2007)[78]. Au sein du modèle de Carroll (Flanagan, McGrew et Ortiz, 1999) elle est repérée comme mesure de Gs (vitesse de traitement).

Le subtest « Code » se présente sous 2 versions : une version A (utilisée pour les enfants de 4 à 7 ans et 11 mois) et une version B (utilisée pour les sujets de 8 à 21 ans et 11 mois). Evidemment, nous avons utilisé pour notre recherche la version B.

Les réponses à ce subtest permettent d'évaluer l'indice de la vitesse de traitement de l'information. Cet indice ressemble au facteur *Gs* (la vitesse de traitement dans le modèle de Cattell-Horn) et ceux de Rapidité cognitive générale dans le modèle de Carroll. Il évalue en fait deux facteurs d'étendue limitée, facteurs que nous retrouvons dans le modèle de Carroll (1993) : la Vitesse perceptive (facteur P) et Rapidité de réponse au test (facteur R9). La vitesse perceptive est définie comme la capacité de discrimination visuelle des formes et la Rapidité de réponse au test représente la capacité de réaliser rapidement une tâche.

Grégoire (2007) a essayé de pointer un lien entre l'assimilation du facteur g et la vitesse de traitement. L'hypothèse de Grégoire (2007) est que la vitesse de traitement représenterait un « noyau » de l'intelligence. Mais les résultats des travaux de Grégoire (2007) n'ont pas montré des preuves concluantes.

Les recherches dans ce domaine ont noté une relation importante entre la vitesse de traitement et les performances scolaires. Par conséquent, la rapidité dans le traitement des informations joue un rôle notable dans les apprentissages scolaires. Ces travaux ont également montré l'influence de la vitesse de traitement sur les autres fonctions cognitives comme l'attention, la concentration ainsi que sur la mémoire de travail.

77 Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *WNV: échelle non verbale d'intelligence: manuel*. EPCA, les Éd. du Centre de psychologie appliquée.

78 Grégoire, J. (2007). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant*. Wavre : Mardaga.

Dernièrement il a été montré que la vitesse de traitement dépend du rendement de la mémoire visuelle à court terme.

3. Mémoire spatiale

L'épreuve suivante, celle de « Mémoire spatiale », mesure aussi l'aptitude cognitive générale[79]. Il a été montré qu'elle teste également la mémoire de travail à partir de stimuli visuo-spatiaux et la mémoire à court terme.

Ce que sollicite l'épreuve d'un point de vue cognitif :

- Les capacités de représentation mentale ;
- Les capacités de repérage dans l'espace ;
- La coordination visuo-motrice ;
- Les capacités d'analyse perceptive des parties de l'image ;
- L'aptitude à travailler sous la pression du temps.

D'après Grégoire (2007)[80], l'épreuve est considérée la meilleure mesure non-verbale du facteur g et aussi la mesure typique de l'intelligence visuo-spatiale comme nous avons vu dans le modèle de Cattell.

Les résultats à cette épreuve permettent d'évaluer l'indice de mémoire de travail. L'indice Mémoire de travail (IMT) est composé de tests et d'épreuves qui évaluent la mémoire, la concentration, l'attention et la mémoire de travail.

Comme nous avons vu dans le chapitre « Approche théorique », les travaux en psychologie cognitive ont pointé l'importance de la mémoire de travail dans le fonctionnement cognitif de la personne.

Pour conclure, les recherches ont montré un lien fort entre la mémoire de travail et les apprentissages scolaires. Par ailleurs, la mémoire de travail a un rôle important dans des activités comme la compréhension et le développement du langage ainsi que dans la résolution des problèmes. Par exemple, les enfants qui présentent des troubles de la lecture ou de l'écriture auraient des difficultés dans la mémoire de travail verbal. Toutefois, d'autres travaux ont indiqué que la réussite ou l'échec à l'IMT ne suffisent pas pour illustrer et expliquer les difficultés des apprentissages de la lecture.

79 Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *WNV: échelle non verbale d'intelligence: manuel*. EPCA, les Éd. du Centre de psychologie appliquée.

80 Grégoire, J. (2007). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant*. Wavre, Mardaga.

4. Arrangement d'images

Le dernier subtest de la batterie WNV, « l'Arrangement d'images », fait partie de la batterie de 4 tests pour les jeunes entre 8 et 21 ans et 11 mois. Plusieurs recherches (Kaufman et Lichtenberger, 2000 ; Wechsler, 1991) ont montré que ce test mesure aussi l'aptitude cognitive générale. Cette échelle met en jeu l'organisation perceptive (le repérage dans le temps et dans l'espace), le raisonnement logique et la planification.

Pour réussir cette tâche il faut bien distinguer ce qui est essentiel et trouver une histoire logique. Les histoires choisies pour cette échelle sollicitent des situations humaines et pratiques et mettent en scène des relations entre les adultes et les enfants, des parents et des enfants, des enfants et des animaux, etc. Cela suppose une planification ainsi que la capacité de se repérer dans le temps et dans l'espace.

C. Pré-test

Après une période d'observation des enfants sourds et de définition précise de leurs besoins, nous avons créé un environnement virtuel - le logiciel *Digisthésia* sur les tablettes tactiles, contenant plusieurs jeux éducatifs. Comme nous l'avons évoqué précédemment, le développement de cette application a été assuré par nos partenaires de recherche, iNovaction Services (entreprise spécialisée dans le développement d'applications mobiles et pilotée par des ingénieurs de l'INSA Lyon).

Après la création de l'outil, un pré-test a été réalisé avec les élèves sourds et malentendants. Cette phase a duré 4 mois et a permis d'affiner la réalisation du didacticiel, en relation étroite avec l'équipe pédagogique qui les accompagnait. Comme nous avons expliqué plus haut, l'équipe pédagogique a été formée d'enseignants spécialisés, de psychologues et aussi d'orthophonistes.

Plus précisément, dans la première version du logiciel nous avions prévu 6 jeux éducatifs : les 4 jeux éducatifs que nous avons présenté et décrit dans la partie « Outils » (« Chasse au trésor », « Débarquement », « Piège de la cascade », « Puzzle ») et encore 2 supplémentaires. Nous avons malheureusement dû renoncer à 2 d'entre eux car suite aux observations et au recueil des besoins des sujets, les jeux écartés ne correspondaient pas à notre typologie d'utilisateur sourds ou malentendants.

La méthodologie de la recherche impose l'utilisation des méthodes spécifiques et appropriées. D'ailleurs, les méthodes utilisées ont été l'observation non participante directe et indirecte. Ces observations ont eu le but de participer à l'évaluation du logiciel

en vue de son amélioration (Tchounikine, 2002). Nous avons aussi utilisé comme méthode de recueil des données l'entretien individuel non-directif et semi-directif.[81]

En conséquence, nous avons organisé un deuxième entretien avec les jeunes, entretien individuel qui a duré entre 40 minutes et maximum une heure. Comme mentionné précédemment, le but de ce rendez-vous était de fixer les 4 jeux finals du logiciel *Digisthésia*. En plus des questionnements qui nous ont permis d'écarter les jeux non-conformes, nous avons pu sonder les sujets concernant leurs préférences d'univers graphique. La démarche de questionnement et les conclusions sont détaillées dans la section « 3.3.4 Le design ».

L'expérience s'est déroulée dans les 7 collèges cités plus haut, dans une salle individuelle (surtout dans les cabinets d'orthophonie de l'établissement). L'ambiance était favorable et très calme ; j'étais seule avec l'élève. Les consignes données aux élèves n'ont pas été nombreuses vu leur rapport à la technologie et aussi le fait qu'ils possédaient des tablettes tactiles. 90% des élèves avaient déjà utilisé une tablette personnellement, avec leurs parents et leurs amis pour des activités de jeu. Nous avons expliqué très vite les consignes pour les 6 jeux éducatifs. Dans la section « Exploitation des jeux » nous avons repris les consignes portant sur la scénarisation de l'univers choisi de la version finale de *Digisthésia*.

Par ailleurs, nous avons remarqué que la plupart des élèves n'avaient pas besoin d'explications supplémentaires et qu'ils comprenaient très vite de la tâche demandée. Toutefois, nous avons choisi de ne pas faire une vraie formation pour présenter ces jeux éducatifs. Il nous semblait important et intéressant de laisser les élèves découvrir tous seuls les fonctionnalités des jeux. Comme il s'agissait des versions initiales des jeux sans univers graphique intégré, les interfaces étaient très épurées et le fonctionnement simplifié au maximum. En fin de séance, chaque élève a fait un retour sur les jeux joués. Ces retours ont été très importants et ils ont été pris en compte pour la construction du logiciel final. Lors de nos entretiens, nous avons aussi constaté que les élèves étaient très motivés pour participer à cette recherche. Plusieurs fois, ils m'attendaient déjà devant le cabinet.

D. Test

Après avoir construit l'outil et fini l'adaptation du didacticiel *Digisthésia* par rapport aux retours des sujets, nous sommes retournés dans les établissements scolaires à Lyon et à côte de Lyon pour tester l'outil auprès des élèves. Il est important de préciser que chaque élève de l'échantillon a été d'abord évalué quant à ses compétences dans le

81 Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *WNV: échelle non verbale d'intelligence: manuel*. EPCA, les Éd. du Centre de psychologie appliquée.

traitement de situations problèmes. Le troisième entretien individuel avec les élèves a duré entre 20 et maximum 30 minutes. Nous avons présenté les 4 jeux du logiciel *Digisthésia* dans leur version finale et nous avons aussi expliqué aux élèves le déroulement.

Cette deuxième étape, celle de test représente l'étape la plus importante de notre recherche et elle a durée 9 mois au total. Ensuite, les élèves ont suivi, pendant 3 mois, des séquences spécifiques (surtout dans des périodes de temps libre, au domicile) où ont été analysés finement leurs erreurs mais aussi l'originalité de leurs stratégies. Comme nous l'avons déjà évoqué, l'outil lui a permis de progresser à son rythme (débutant, intermédiaire et expert).

Pendant ces 3 mois, nous avions accès à l'activité de l'élève grâce aux traces informatiques et au suivi à distance. Nous pouvions voir quels étaient les jeux préférés des participants, la fréquence des séances de jeu, etc. La totalité des données tracées et accessibles à distance est indiquée dans la section « 3.3.2 Les jeux ».

E. Post-test

Après cette phase de test, nous avons repris l'évaluation initiale. Par conséquence, nous avons retesté les participants en utilisant la version longue du WISC non-verbal, version qui contient les sous-épreuves décrites plus haut : « Matrices », « Code », « Mémoire » et « Arrangements d'images ». Le quatrième rendez-vous avec les élèves représentait aussi notre dernier entretien individuel avec eux et a duré environ 45 minutes. En début de séance, chaque enfant a fait des retours concernant les 4 jeux éducatifs ainsi que sur la globalité de leur expérience. Il faut aussi souligner que la durée totale de cette dernière étape a été de 4 mois en raison des contraintes organisationnelles et de temps des sujets.

L'objectif était de savoir si le sujet a progressé et en quoi le didacticiel a permis (ou non), cette progression. Cette dernière étape de la méthodologie, celle du retest, a eu lieu un an/un an et demi après l'évaluation initiale. Pour établir la durée idéale de cette étape, nous avons pris en compte les travaux de Canivez et Watkins, 1998 ; 2001 ; McCaffrey, Duff et Westervelt, 2000 ; Naglieri et Pheiffer, 1983 ; Rapport, Brines, Axelrod et Theisein, 1997. Ces études ont pointé que les effets d'apprentissage pour les épreuves non verbales sont minimisés après un intervalle d'un à deux ans.

Chapitre 4. Présentation des résultats

Nos résultats sont issus des différents modes de recueil des données présentés dans le troisième chapitre.

Afin d'analyser nos résultats, nous avons utilisé le logiciel SPSS Statistics. Etant donnée la distribution des données et aussi le nombre limité de participants, nous avons été obligés d'utiliser pour la partie statistique uniquement des tests non-paramétriques.

Par la suite, nous allons présenter la stratégie d'analyse des données ainsi que détailler les résultats obtenus pour nos différentes études.

I. Comparabilité des groupes

Avant de commencer la partie « Présentation des résultats », il me semble important d'ajouter la comparabilité des deux groupes des participants (ceux qui ont reçu l'entraînement avec le logiciel Digisthésia et ceux qui ne l'ont pas reçu) avant l'intervention. Plus précisément, nous avons comparé les scores obtenus à l'échelle de non-verbale de Wechsler, à l'étape de pré-test pour les 2 groupes des participants mentionné antérieurement. Le but était de vérifier si ces 2 groupes sont comparables ou non avant l'expérimentation.

A. Le test de Mann-Whitney U

Comme indiqué antérieurement, nous sommes intéressés de savoir si ces 2 groupes sont comparables ou non avant de commencer l'entraînement avec notre logiciel Digishésia.

Afin de répondre à cette question, nous avons utilisé le test de Mann-Whitney. Les statistiques descriptives de l'application du test U de Mann-Whitney sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les élèves ayant reçu l'entraînement et le groupe de contrôle

	Sans entraînement N=40		Entraînés N=40		t ou |z|	p
	m	*ET*	*m*	*ET*		
WNV T1	88,38	14,28	89,45	14,56	-,510	,610

m :moyenne; ET : écart-type; *p<0,05 ; **p<0,01

Les résultats n'ont relevé aucune différence significative dans les scores obtenus par le groupe témoin et le groupe qui a utilisé Digisthésia (z= -,510; p= 0,610). En conclusion, nous pouvons affirmer que ces 2 groupes sont comparables et nous pouvons commencer notre expérimentation avec le logiciel Digisthésia.

Pour apporter plus de cohérence à l'étude, nous nous sommes aussi intéressés de savoir si on pouvait comparer les participants déficients auditifs qui ont utilisé le logiciel Digisthésia sur tablette tactile et ceux qui ne sont pas entraînés avec la tablette numérique avant l'expérimentation. Plus précisément, nous avons comparé les résultats obtenus à l'échelle non-verbale de Wechsler, à l'étape de pré-test entre ces 2 groupes des participants. Afin de répondre à cette question nous avons utilisé le test de Mann Whitney. Les statistiques descriptives de l'application du test U de Mann-Whitney sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les participants déficients auditifs ayant reçu l'entraînement et le groupe témoin

	Sans entraînement N=40		Entraînés N=40		t ou |z|	p
	m	*ET*	*m*	*ET*		
WNV T1	87,05	14,50	87,30	14,24	-,366	,715

m :moyenne; ET : écart-type; *p<0,05 ; **p<0,01

Concrètement, la comparaison des moyennes pour le T1 entre les scores obtenus à l'échelle non-verbale de Wechsler n'ont pas relevé des différences significatives entre ces 2 groupes de participants (z= -,366; p= 0,715). Autrement dit, ces 2 groupes sont comparables et nous pouvons commencer l'intervention avec le logiciel Digisthésia.

Dernièrement, nous avons aussi comparé les deux sous-groupes d'enfants entendants, ceux qui ont utilisé le logiciel Digisthésia et ceux qui ont fait partie du groupe témoin. Concrètement, nous avons comparé les scores obtenus à l'échelle WISC non-verbale à l'étape de pré-test pour ces 2 groupes des participants. Notre objectif était de savoir si ces 2 échantillons sont comparables ou non avant l'expérimentation avec notre logiciel. Afin de répondre à cette question, nous avons appliqué le test U de Mann-Whitney.

Tableau 10. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les participants entendants ayant reçu l'entraînement Digisthésia et le groupe témoin

	Sans entraînement N=40		Entraînés N=40		t ou |z|	p
	m	*ET*	*m*	*ET*		
WNV T1	89,70	14,30	91,60	14,92	-,190	,850

m :moyenne; ET : écart-type; *p<0,05 ; **p<0,01

Les résultats n'ont relevé des différences significatives entre les scores obtenus au WNV (T1) dans le cas de ces 2 groupes (z= -,190; p= 0,850). Autrement dit, nous pouvons remarquer que ces 2 derniers groupes sont aussi comparables.

La conclusion générale de cette partie est que les 6 groupes présentés antérieurement sont comparables. En conséquence, nous pouvons passer à la suivante étape, l'analyse des résultats après l'expérimentation avec notre logiciel Digisthésia. Nous cherchons à savoir quelle est l'influence du Digishésia sur les potentialités cognitives des élèves.

II. Périmètre de l'analyse

Avant de commencer l'analyse des résultats, il est important de noter que nous avons été obligés de filtrer la population participante à cette analyse. Le but de cette sélection était d'amener plus de cohérence à l'étude. Plus précisément, pour différentes études, nous avons enlevé les élèves qui n'ont pas joué des parties ou ceux qui ont joué moins de 3 parties pour un des 4 jeux de *Digisthésia*. Ce filtrage se fait en plus des 2 parties qu'on avait déjà écartées car jouées pendant l'explication des consignes.

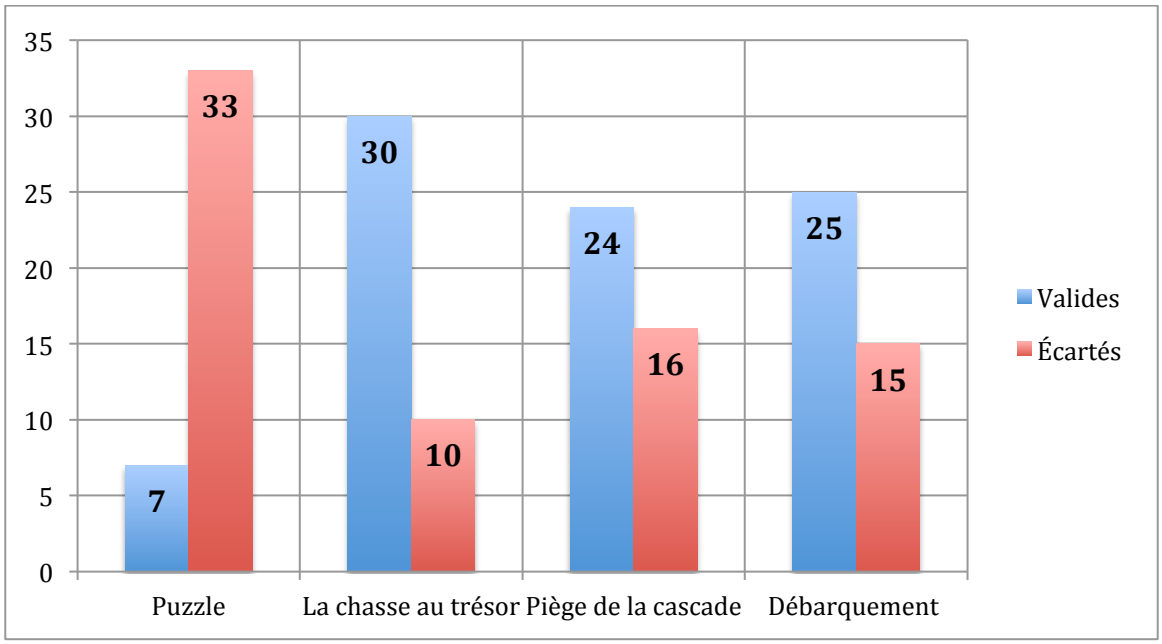
La logique du filtrage repose sur le fait qu'en-dessous de 3 parties, les performances des sujets ne sont pas forcément représentatives par rapport à leur vraie compétence. Le but de notre recherche est de nous axer sur le volontariat des sujets afin de maximiser le rendement des améliorations cognitives via les séances de jeu. Nous avons donc considéré que le fait d'obliger les sujets à jouer plus de 3 parties ou de jouer systématiquement à tous les jeux aurait faussé nos résultats en introduisant des parties où les sujets n'auraient pas agi au maximum de leurs compétences cognitives.

Nous avons notamment 3 phénomènes qui ajoutent de l'hétérogénéité dans les performances quand on est en-dessous de 3 parties :

- abandons car jeu trop complexe : pour « Piège de la cascade » (entraînant la mémoire) nous avions beaucoup de retours comme quoi le jeu était difficile. Généralement les sujets écartés n'ont même pas essayé de finir la partie (utilisé tous leurs essais), ils ont coupé court en quittant le jeu ;
- abandon car perçu comme frustrant : le temps de réflexion est un élément important pour notre population. Dans le jeu « Débarquement » (correspondant au « Code »), le fait d'être contraints à raisonner et prendre rapidement des décisions avait déjà amené plusieurs sujets à nous remonter une perception de « pression » ou « enjeu » qui pourrait générer de la frustration par une mauvaise performance.
- abandons car jeu trop simple : pour le jeu « Puzzle » nous avons la majorité de la population qui a été écartée. Sur ceux écartés, plus de 75% ont juste lancé une fois le jeu. Nous étions déjà conscients de la perception de ce jeu comme simpliste car la population de notre étude s'étale sur un intervalle d'âge de 11 à 15 ans, largement en-dessus de l'âge où les enfants sont intéressés par les puzzles ;

La Figure 40 présente une statistique concernant le filtrage des participants par jeu.

Figure 40. Filtrage des sujets par jeu.



Suite à cette stratégie de filtrage, nous retrouvons des sujets qui ont été pris en compte pour tous, 3, 2, 1 ou aucun jeu *Digisthésia*. Le Tableau 11 présente le comportement des joueurs par rapport au nombre de jeux validés et parties prises en compte pour l'analyse:

Tableau 11. Comportement des joueurs Digisthésia (N=40)

	Aucun jeu	1 jeu	2 jeux	3 jeux	Tous les jeux	Parties joués	Parties analysées	Parties par jeu validé
Entendants	0	3	5	11	1	295	275	4,7
Sourds et malentendants	0	6	9	2	3	464	423	8,6
Total	0	9	14	13	4	759	698	

Tout d'abord, d'un point de vue quantitatif nous observons que la stratégie de filtrage n'est pas très contraignante quant au volume des données. Sur les 759 parties jouées, 698 rentrent dans le périmètre de l'analyse, soit une « perte » d'environ 8% du volume de données récoltées.

Qualitativement, avec une moyenne de 8,6 parties/jeu validé, les sourds et malentendants ont utilisé l'outil presque deux fois plus que les entendants qui, pour leur part, ont joué en moyenne 4,7 parties pour chaque jeu validé. Si on applique une moyenne pondérée, on retrouve que chaque élève entendant a validé en moyenne 2,5 jeux tandis qu'un jouer sourd et malentendant a validé en moyenne 1,9.

On peut conclure que les participants entendants ont joué moins de parties, mais ont eu plus d'ouverture d'esprit pour tester tous les jeux disponibles, tandis que les sourds et malentendants ont joué plus, mais se sont focalisés sur moins de jeux.

III. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves?

Le cœur de cette thèse concerne les nouvelles technologies et leur influence sur le processus d'apprentissage. Précédemment, nous avons fait l'hypothèse générale que les tablettes tactiles influenceraient positivement l'apprentissage des élèves. Nous avons donc constitué 2 groupes comptant chacun 20 entendants et 20 sourds et malentendants. Un des groupes a utilisé Digisthésia tandis que l'autre sert de groupe de contrôle.

Afin de répondre à la question, notre objectif a été de déterminer s'il existe des différences significatives entre les scores obtenus par ces 2 groupes à la deuxième passation « T2 » de l'échelle non-verbale de Wechsler, après l'utilisation du logiciel *Digisthésia*.

Pour rappel, la deuxième passation (T2) a eu lieu un an/un an et demi après la première passation (T1). Il est important de préciser que nous avons pris en compte l'effet test-retest. Dans ce sens, nous pouvons rappeler les travaux cités antérieurement de Canivez et Watkins, 1998 ; 2001 ; McCaffrey, Duff et Westervelt, 2000 ; Naglieri et Pheiffer, 1983 ; Rapport, Brines, Axelrod et Theisein, 1997. Leur opinion est que les effets d'apprentissages pour les épreuves non-verbales sont minimisés après un intervalle d'un an à deux ans.

A. Données descriptives

Les caractéristiques des scores obtenus lors de la 2ème passation de l'échelle WNV aux 2 populations sont résumées dans le Tableau 12 :

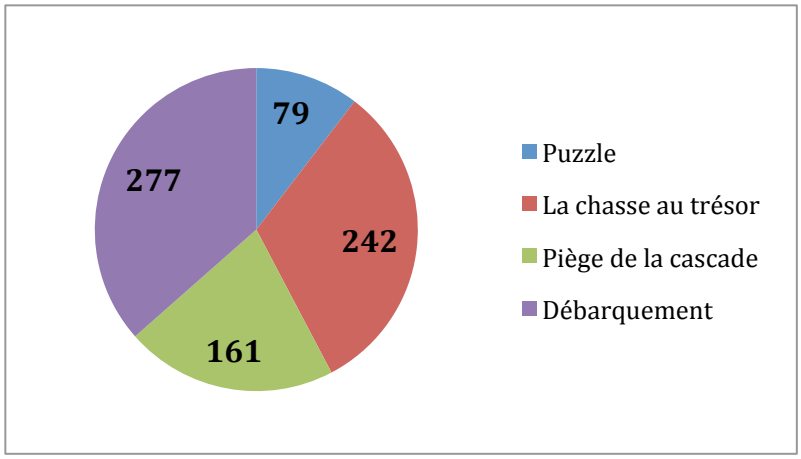
Tableau 12. Statistiques descriptives de la note échelle WNV T2 (N=80)

	N	*m*	*ET*	*Min*	*Max*	Asymétrie	Aplatissement
Sans entraînement	40	88,40	14,05	61	120	-,222	-,443
Entraînés	40	94,70	15,21	53	115	-,742	,148

m :moyenne; ET : écart-type; Min: minimum; Max: maximum

Concernant l'activité des 40 sujets ayant utilisé Digisthésia, la Figure 41 présente la répartition du nombre de parties pour chaque jeu éducatif du logiciel *Digisthésia* au niveau de la population totale. Le nombre de parties total que les sujets ont joué pour chaque jeu : 277 parties pour le « Débarquement » (qui teste et entraîne la vitesse de traitement), 242 parties pour la « Chasse au trésor » (qui teste et entraîne l'attention) et 161 de parties pour le jeu éducatif « Piège de la cascade » (qui concerne la mémoire) et 79 parties pour « Puzzle » (qui teste et entraîne la capacité de résolution de problèmes).

Figure 41. Répartition des parties par jeu *Digisthésia*.



B. Le test de Mann-Whitney U

Comme indiqué précédemment, notre but était de vérifier s'il y a des différences significatives entre les scores obtenus à la deuxième passation (T2) par les deux groupes : ceux qui ont reçu l'entrainement avec le logiciel *Digisthésia* et ceux qui ne l'ont pas reçu. Afin de répondre à cette question, nous avons utilisé le test de Mann-Whitney. Les statistiques descriptives de l'application du test U de Mann-Whitney sont présentées dans le Tableau 13.

Tableau 13. Comparaison des notes d'échelle WNV T2 obtenues par les élèves ayant reçu l'entraînement et le groupe témoin

	Sans entraînement N=40		Entraînés N=40		t ou |z|	p
	m	*ET*	*m*	*ET*		
WNV T2	88,40	14,05	94,7	15,21	-2,253	,024*

m :moyenne; ET : écart-type; *p<0,05 ; **p<0,01

Comme le montre le Tableau 13, les analyses ont relevé une différence entre les deux groupes. Plus précisément, ce test a indiqué que les scores obtenus après l'étape de post-test sont nettement plus élevées pour les élèves qui se sont entraînés avec notre logiciel (*Mdn*=46,35). De plus, les personnes qui ont fait partie du groupe témoin ont obtenu des scores moins élevés (*Mdn*= 34,65), U=566, *p*=,024.

Pour conclure, nous pouvons convenir qu'il existe des différences significatives entre le groupe de contrôle et le groupe de test concernant les scores totaux obtenus à l'échelle WNV après l'utilisation du didacticiel *Digisthésia*. En conséquence, cela se traduit par des effets positifs du logiciel *Digisthésia* sur les scores totaux obtenus au WNV et plus précisément, sur le processus d'apprentissage de tous les participants.

C. Sous-hypothèses

De plus, nos 4 sous-hypothèses étaient que le logiciel *Digisthésia* aurait une influence positive sur chacune des 4 potentialités cognitives des élèves:

- l'attention ;
- la mémoire ;
- la vitesse de traitement ;
- la résolution des problèmes.

Afin de descendre à l'analyse par sous-échelle du WNV, il est très important de noter que le volume des données pour chaque jeu est cette fois-ci beaucoup plus réduit. En plus, avec la stratégie de filtrage énoncée dans « Périmètre de l'analyse », la répartition des parties résumée par la Figure 41 risque d'être revue à la baisse dans l'étude de chacun des sous-échelles.

Effectivement, si on regarde la répartition des 79 parties de Puzzle par utilisateur :

- 18 personnes n'ont joué aucune partie ;
- 10 personnes ont joué 1 partie chacun ;
- 5 personnes ont joué 2 parties chacun ;
- 7 personnes ont joué 3 ou plus de parties et seraient analysés.

Conclusion

Suite au nombre faible de sujets pouvant être pris en compte pour l'analyse, nous allons écarter le jeu « Puzzle » et implicitement la sous-échelle « Arrangement d'images » des études détaillées relatives aux sous-échelles du WNV.

Suite à cette décision, il reste donc 3 sous-échelles à analyser. A noter que suite au filtrage, les populations prises en compte ont des tailles différentes pour chaque sous-test. Les statistiques descriptives de l'application du test U de Mann-Whitney pour les échelles WNV comprises dans notre périmètre d'analyse :

Tableau 14. Comparaison des moyennes obtenues pour les sous-échelles WNV T2

	N	Sans entraînement		Entraînés		t ou |z|	p
		m	*ET*	*m*	*ET*		
Matrices	30	45,98	6,141	50,55	7,161	-2,93	,003**
Code	25	43,90	9,052	48,18	8,464	-2,12	,034*
Mémoire spatiale	24	46,43	8,808	51,20	8,213	-2,43	,015*

m :moyenne; ET : écart-type; *p<0,05 ; **p<0,01

Tout d'abord, nous nous interrogeons si notre didacticiel a une influence sur l'attention des utilisateurs. Afin de répondre à cette question, nous avons appliqué le test U de Mann-Whitney. Plus précisément, nous avons comparé les résultats obtenus au sous-test « Matrices » de l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler pour le T2 (après l'entraînement avec le logiciel *Digisthésia*) pour les deux groupes des participants, ceux qui ont fait partie du groupe témoin et ceux du groupe de test.

Comme le montre le Tableau 14, les analyses des résultats ont indiqué une différence significative entre le groupe de contrôle et le groupe qui a utilisé *Digisthésia.* Concrètement, le groupe qui a suivi l'entraînement avec le didacticiel *Digisthésia* a obtenu des scores plus importants à l'échelle « Matrice » que le groupe témoin (z= -2,93; p=0,003). En d'autres termes, cela se traduit par une influence positive du logiciel *Digisthésia* sur l'attention des utilisateurs.

Deuxièmement, nous sommes intéressés de savoir si le logiciel *Digisthésia* a eu une influence sur la mémoire des utilisateurs. Nous avons suivi la même démarche que pour notre première sous-hypothèse. Précisément, nous avons appliqué le test de Mann-Whitney. En ce qui concerne le deuxième sous-test « Mémoire spatiale », nous avons remarqué aussi des différences significatives entre les 2 groupes des participants (z= -2,43; p= 0,015). Autrement dit, nous pouvons affirmer qu'il existe une amélioration de la mémoire chez les participants qui ont utilisé *Digisthésia*.

Troisièmement, notre question était de savoir si notre plateforme interactive *Digisthésia* aurait une influence sur la vitesse de traitement des élèves. Afin de répondre à cette question, nous avons utilisé le même test non-paramétrique de Mann-Whitney. Une différence significative entre les deux groupes a été rapportée pour les scores obtenus à la sous-échelle « Code » de la WNV (z= -2,12; p= 0,034). Autrement dit, nous avons remarqué une amélioration de la vitesse de traitement de l'information seulement pour les élèves qui se sont entraînés avec le logiciel *Digisthésia.*

Pour conclure, nous pouvons affirmer que notre logiciel *Digisthésia* a eu une influence positive que sur 3 paramètres : l'attention, la mémoire et la vitesse de traitement. Comme nous avons été obligés d'écarter le jeu éducatif « Puzzle », nous ne sommes pas en mesure de discuter l'influence du didacticiel *Digisthésia* sur la capacité de résolution des problèmes. En conséquence, notre hypothèse a été partiellement validée.

III. Etude 2 : Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ?

Dans la première étude, nous avons relevé que notre logiciel *Digisthésia* a une influence positive sur le processus d'apprentissage des tous les participants l'ayant utilisé. Dans la suite, nous cherchons à savoir si notre logiciel est plus adapté aux spécificités des personnes sourdes et malentendantes. En conséquence, cette étude porte sur la validation du logiciel *Digisthésia* pour les élèves sourds et malentendants.

Plus précisément, notre but était de vérifier si les différences entre les scores obtenus pour l'échelle WNV entre la première (T1) et la deuxième passation (T2) sont plus importantes pour les élèves sourds/malentendants qui ont utilisé *Digisthésia* que pour les utilisateurs entendants.

Afin de répondre à cette question, nous avons utilisé le test signé des rangs de Wilcoxon. Etant donnée la distribution des données, nous avons appliqué ce test statistique non-paramétrique pour comparer les scores obtenus au pré-test et au post-test. Les statistiques descriptives de l'application du test de Wilcoxon sont présentées dans le Tableau 15 et les résultats dans le Tableau 16.

Tableau 15. Statistiques descriptives pour les variables du test de Wilcoxon.

	Négative[a]	Positive[b]	Egale[c]	Total	*m nég*	*m pos*
Entendants	3	16	1	20	10,33	9,94
Sourds et malentendants	2	18	0	20	3,25	11,31

a : WNV post < WNV pre; *b* : WNV post > WNV pre; *c* : WNV post = WNV pre;
m nég : moyenne des cas négatifs ; *m pos* : moyenne des cas positifs

En conséquence, les résultats ont indiqué que les scores obtenus à l'étape de post-test (T2-repassage de la WNV) sont plus élevés que ceux obtenus à la première étape (T1) pour les deux groupes, pour les élèves entendants et sourds et malentendants qui ont suivi notre entraînement *Digisthésia*. Plus précisément, nous avons observé que, dans le cas des participants entendants, la différence entre les 2 étapes (pré-test/post-test) est significative (Z=-2,582 ; p=0,01). De plus, nous pouvons faire la même remarque pour les élèves sourds et malentendants qui ont utilisé la tablette tactile (Z=-3,683 ; p=0,00).

Tableau 16. Signification du test de Wilcoxon

	N	Z	Valeur de p
Entendants	20	-2,582	,010**
Sourds et malentendants	20	-3,683	,000**

* $p < 0,05$; ** p< 0,01

D'ailleurs, nous avons remarqué que l'entraînement avec le logiciel *Digisthésia* a eu un effet plus accentué dans le cas des participants sourds et malentendants. En d'autres termes, nous avons observé une amélioration plus importante dans le cas des participants déficients auditifs. En conséquence, nous pouvons conclure que notre didacticiel est plus adapté aux utilisateurs sourds et malentendants.

IV. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ?

La troisième étude porte aussi sur la validation de notre outil - le logiciel *Digisthésia*. Plus précisément, notre question était de savoir s'il existe une corrélation entre les sous-échelles de l'échelle non-verbale de Wechsler (« Matrices », « Code », « Mémoire spatiale ») et les 3 jeux éducatifs rentrant dans le périmètre de l'analyse du logiciel *Digisthésia* (« La chasse au trésor », « Débarquement », « Piège de la cascade »).

Nous vous rappelons nos sous-hypothèses présentées antérieurement:

- le jeu éducatif « La chasse au trésor » est corrélé positivement au subtest « Matrices » de l'échelle non-verbale WNV ;
- le « Débarquement » est associé positivement avec la sous-échelle le « Code » ;
- le dernier jeu éducatif « Piège de la cascade » est corrélé positivement avec celui de « Mémoire spatiale ».

Avant de rentrer dans les détails de l'analyse pour chaque sous-hypothèse il est important d'expliquer certains choix. Pour rappel la chronologie de l'expérimentation a été : 1er passage de la WNV (T1) ➔ Utilisation de *Digisthésia* ➔ 2ème passage de la WNV (T2).

A l'opposé de la WNV, *Digisthésia* ne souhaite pas mesurer à un instant précis les capacités cognitives, mais plutôt donner au sujet un outillage qui lui permettrait d'améliorer sa capacité. C'est pourquoi d'un point de vue logique la corrélation que nous souhaitons tester est entre les scores des jeux et les performances lors du 2ème passage des subtests du WNV (T2).

A. « Matrices » versus « La chasse au trésor »

Nous allons commencer analyse corrélationnelle à l'aide du coefficient de Spearman pour notre première sous-hypothèse qui suppose que le jeu éducatif « Chasse au trésor » est corrélé avec le subtest « Matrices » de l'échelle non-verbale de Wechsler.

1. Données descriptives

Les statistiques descriptives pour ce jeu est les échelles WNV sont présentées dans le Tableau 17.

Tableau 17. Statistiques descriptives du jeu « La chasse au trésor » et des sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 30).

	m	*ET*	Min	Max
Matrices	51,57	7,18	38	71
Code	49,27	8,57	32	63
Mémoire spatiale	49,63	7,52	35	61
Chasse au trésor	2602,20	1132,41	589	5026

m :moyenne ; *ET* : écart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum

2. Analyse corrélationnelle

Etant donné la distribution des données, nous avons fait une analyse corrélationnelle à l'aide du coefficient de Spearman.

Les résultats des analyses corrélationnelles sont présentés dans le Tableau 18.

Tableau 18. Analyse corrélationnelle entre le jeu « La chasse au trésor » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 30).

	Chasse au trésor	Matrices	Code	Mémoire spatiale
Chasse au trésor	1			
Matrices	,417*	1		
Code	,333	,505**	1	
Mémoire spatiale	,141	,338	,518**	1

* p < 0,05, **p<0,01

Les analyses de corrélations entre les variables, ont montré que le jeu « Chasse au trésor » est positivement corrélé avec la sous-échelle « Matrices » (r=0,417, p=0,022). Plus précisément, plus les élèves obtiennent de bonnes cotations à l'épreuve « Matrices » de la WNV, plus ils réalisent des bons scores au test « Chasse au trésor ». A l'inverse, plus les participants réalisaient des scores bas pour l'échelle « Matrice », plus ils reportaient de mauvais scores au jeu « Chasse au trésor ». Nous pouvons aussi noter qu'il n'y a pas de corrélation avec les 2 autres sous-échelles, Code et Mémoire spatiale.

B. « Code » versus « Débarquement »

Ensuite, nous avons continué notre analyse corrélationnelle à l'aide du coefficient de Spearman afin de voir si le jeu « Code » est corrélé avec le jeu éducatif « Débarquement » du logiciel *Digisthésia*. Comme indiqué précédemment, notre sous-hypothèse présume que le jeu éducatif « Débarquement » se trouve dans une relation de corrélation avec la sous-échelle « Code » de la WNV.

1. Données descriptives

Les variables de la présente sous-étude sont décrites dans le Tableau 19.

Tableau 19. Statistiques descriptives du jeu « Débarquement » et des sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 25).

	m	*ET*	Min	Max
Matrices	50,82	6,90	40	71
Code	48	8,68	32	63
Mémoire spatiale	49	7,80	35	66
Débarquement	4202,82	3532	0	11047

m :moyenne ; *ET* : écart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum

2. Analyse corrélationnelle

Les résultats de la deuxième analyse corrélationnelle pour cette étude sont présentés dans le Tableau 20.

Tableau 20. Analyse corrélationnelle entre le jeu « Débarquement » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 25).

	Débarquement	Matrices	Code	Mémoire spatiale
Débarquement	1			
Matrices	,396*	1		
Code	,541**	,444*	1	
Mémoire spatiale	,419*	,173	,425*	1

* p < 0,05, **p<0,01

Les résultats ont relevé une corrélation significative entre le subtest « Code » et les scores obtenus au jeu « Débarquement » (r=0,541, p=0,003). En d'autres termes, plus les élèves réalisent des cotations élevées à l'échelle « Code », plus ils obtiennent de bons scores pour le jeu « Débarquement ». Inversement, plus les sujets obtiennent de mauvaises cotations au subtest « Code », plus ils obtiennent des scores faibles au jeu éducatif « Débarquement ».

De manière intéressante, nous avons aussi remarqué qu'il existe une corrélation positive entre le jeu « Débarquement » et les subtests « Mémoire spatiale » (r=0,419, p=0,026) et « Matrices » (r=0,396, p=0,037) de l'échelle non-verbale de Wechsler. Il nous semble important de préciser que la corrélation entre le jeu éducatif « Débarquement » et l'épreuve « Code » est plus forte qu'avec celle les épreuves « Mémoire spatiale » et « Matrice ».

C. « Mémoire spatiale » versus « Piège de la cascade »

La sous-hypothèse suivante suppose qu'il existe une corrélation entre la sous-échelle « Mémoire spatiale » qui appartient à l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler et le jeu ludo-éducatif « Piège de la cascade ».

1. Données descriptives

Les données descriptives avec les moyennes, les écart-types, minimum et maximum sont présentées dans le Tableau 21.

Tableau 21. Statistiques descriptives du jeu « Piège de la cascade » et des sous-échelles WNV (Sujets : N = 24).

	m	*ET*	Min	Max
Matrices	50,46	7,37	40	71
Code	48,37	7,60	32	59
Mémoire spatiale	52,04	7,80	40	66
Piège de la cascade	535,33	270,73	211	1134

m :moyenne ; *ET* : écart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum

2. Analyse corrélationnelle

Une analyse corrélationnelle à l'aide du coefficient de Spearman a été réalisée afin de vérifier s'il existe une corrélation entre les sous-parties « Mémoire spatiale » de la WNV et le jeu ludo-éducatif « Piège de la cascade ». La matrice des corrélations est présentée dans le Tableau 22.

Tableau 22. Analyse corrélationnelle entre le jeu « Piège de la cascade » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 24).

	Piège de la cascade	Matrices	Code	Mémoire spatiale
Piège de la cascade	1			
Matrices	,107	1		
Code	,337	,633**	1	
Mémoire spatiale	,880**	,167	,385	1

* p < 0,05, **p<0,01

Une corrélation entre le subtest « Mémoire spatiale » et le jeu « Piège de la cascade » a été observée après l'analyse des résultats à l'aide du coefficient r de Spearman (r=0,880, p=0,000). Autrement dit, plus les participants réalisaient des scores élevés au subtest « Mémoire spatiale », plus ils reportaient des scores élevés au « Piège de la cascade ». A l'opposé, plus les élèves obtenaient de mauvais scores à l'échelle « Mémoire spatiale », plus ils reportaient des scores faibles au jeu éducatif « Piège de la cascade ».

En conclusion, les résultats on relevé qu'il existe une corrélation positive entre 3 des sous-échelles de l'échelle non-verbale de Weschler (Matrice, Code, Mémoire spatiale) et les 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* (La chasse au trésor, Débarquement, Piège de la cascade).

V. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ?

Notre hypothèse suppose qu'il existe une corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour et que le temps de réaction changerait en fonction du niveau de difficulté au jeu d'une façon incrémentale.

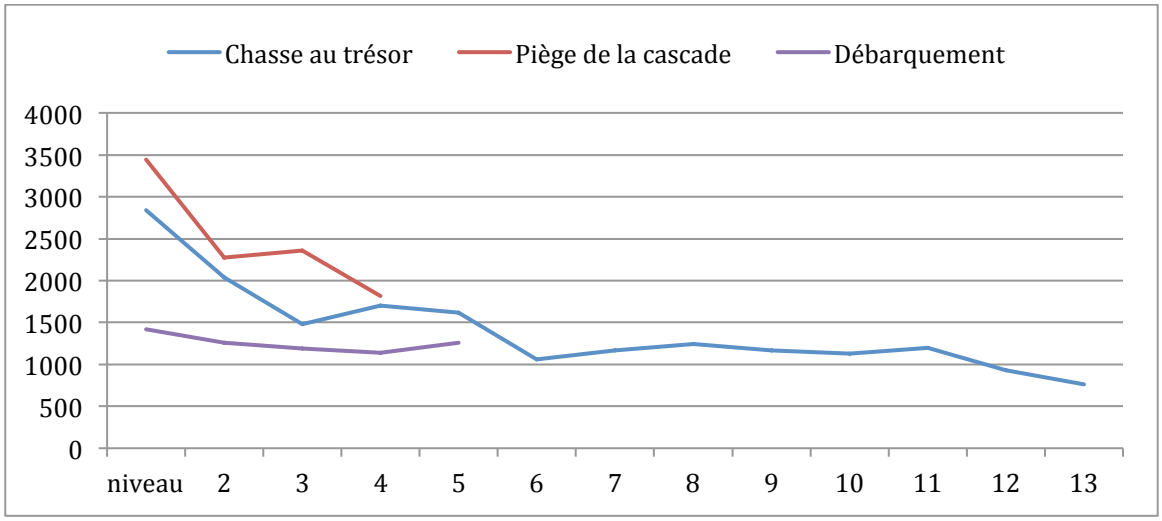
Pour rappel, les sujets jouent plusieurs parties pour chacun des jeux *Digisthésia*. Une partie est composée de plusieurs tours de difficulté croissante et lors de chaque tour le sujet doit faire différents essais afin de trouver la solution et passer à un niveau de difficulté supérieur. Les temps de réflexion de chaque essai sont enregistrés (pour la liste exhaustive des données tracées pour les jeux, consultez la section « 3.3.2 Les jeux » du Chapitre III. Méthodologie).

Afin de répondre à cette question, nous avons réalisé une analyse de corrélation à l'aide du coefficient r de rang de Spearman. Nous avons pris le cas de chaque jeu éducatif du logiciel *Digisthésia* et nous avons calculé le r de Spearman.

A. Données descriptives

Afin d'avoir une vision globale sur les tendances des différents temps moyens de réflexion nous avons agrégé les valeurs dans la Figure 42.

Figure 42. Temps moyens de réflexion par essai (en millisecondes) pour les différents niveaux de difficulté des tours pour chaque jeu *Digisthésia*.



Les données descriptives des différentes moyennes pour le temps de réaction des essais d'un tour avec un certain niveau de difficulté sont présentées dans le Tableau 23.

Tableau 23. Statistiques descriptives du niveau de difficulté et temps moyen pour essai en secondes (N=40)

	m	*ET*	Min	Max
Niveau de difficulté du tour	4,27	2,86	1	12
Temps moyen essai (s)	2,47	2,49	0	19,77

m :moyenne ; *ET* : écart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum

B. Analyses corrélationnelles

« Chasse au trésor »

Nous avons commencé notre analyse avec le premier jeu éducatif la « Chasse au trésor ». Le Tableau 24 présente la matrice des corrélations obtenues.

Tableau 24. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Chasse au trésor ».

	N parties	r	Valeur de p
Niveau de difficulté du tour Temps de réflexion essai	225	-,289	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Les analyses de corrélations entre les variables, ont montré que le temps de réaction était négativement corrélé avec le niveau de jeu (r=-0,289, p=0,000).

« Piège de la cascade »

Ensuite, nous avons continué notre analyse corrélationnelle pour un autre jeu éducatif du logiciel *Digisthésia*, le « Piège de cascade ». Les résultats sont présentés dans le Tableau 25. Les résultats montrent une corrélation significative négative entre le temps de réaction et le niveau de jeu (r=-0,496, p=0,000).

Tableau 25. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Piège de la cascade ».

	N parties	r	Valeur de p
Niveau de difficulté du tour Temps de réflexion essai	86	-,496	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

« Débarquement »

Concernant le dernier jeu éducatif du logiciel *Digisthésia*, le « Débarquement », nous avons réalisé une autre analyse corrélationnelle afin de voir s'il existe une corrélation entre le temps de réaction pour un essai et le niveau de difficulté du tour. Nous avons fait une présentation de la matrice d'analyse corrélationnelle dans le Tableau 26.

Dans le cas du jeu éducatif « Débarquement », les résultats ont indiqué que le temps de réaction est associé négativement au niveau (r=-0,424, p=0,000).

Tableau 26. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Débarquement ».

	N parties	r	Valeur de p
Niveau de difficulté du tour Temps de réflexion essai	118	-,424	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Nous pouvons conclure que nos résultats ont pointé des corrélations négatives significatives entre le temps de réaction et le niveau du jeu pour les 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia*. Plus précisément, les temps de réflexion diminuent avec la montée en niveau de difficulté. Cela implique que la montée en niveau se fait avec une sédimentation de l'expérience accumulée aux niveaux précédents, fait qui permet aux sujets d'avoir une meilleure performance cognitive transversale aux différentes capacités cognitives entraînées par les jeux.

C. Corrélation entre le score final d'une partie et le niveau final atteint

La corrélation qu'on vient de retrouver pour la vitesse de réaction pourrait avoir des implications intéressantes. Comme expliqué dans le point « Cotation » de chaque jeu (cf Chap.3 Méthodologie), la vitesse de réaction est prise en compte pour le score obtenu pour chaque essai dans la forme d'un bonus de points. Vu que ce bonus est corrélé avec le niveau de l'essai, et que les scores des essais sont additionnés dans le score final d'une partie, n'y aurait-il pas aussi une relation entre le niveau maximum qu'un joueur atteint pendant une partie et le score final obtenu pour cette dernière ?

Pour reformuler, nous nous intéressons s'il existe une corrélation entre le score final d'une partie et le niveau atteint à la fin de la partie respective. Nous avons aussi réalisé des analyses corrélationnelles à l'aide du coefficient r de rang de Spearman pour chacun des jeux *Digisthésia*.

« Chasse au trésor »

Concernant le premier jeu, la « Chasse au trésor », l'analyse corrélationnelle (Tableau 27) a relevé que le score final pour ce jeu est significativement et positivement corrélé avec le niveau maximum au même jeu (r=0,925, p=0,000).

Tableau 27. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Chasse au trésor ».

	N parties	r	Valeur de p
Niveau final de la partie Score de la partie	89	,925	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

« Piège de la cascade »

Concernant le jeu éducatif « Piège de la cascade », nous avons constaté que le niveau maximum atteint au jeu corrèle significativement et positivement avec le score final au même jeu (r=0,961, p=0,000). Les résultats sont présentés dans le Tableau 28.

Tableau 28. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Piège de la cascade »

	N parties	r	Valeur de p
Niveau final de la partie Score de la partie	60	,961	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

« Débarquement »

Une analyse corrélationnelle pour le jeu « Débarquement » à l'aide du même coefficient r de Spearman a été réalisée sur les différentes variables. Les résultats des analyses corrélationnelles sont présentés dans le Tableau 29.

Des corrélations significatives positives entre le score final et le niveau maximum atteint au jeu ont été trouvés (r=-0,865, p=0,000).

Tableau 29. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Débarquement».

	N parties	r	Valeur de p
Niveau final de la partie Score de la partie	91	,865	,000**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

En conclusion, nous pouvons affirmer qu'il existe des corrélations positives entre les niveaux maximum atteints pendant les parties des jeux du logiciel *Digisthésia* et les scores obtenus pour ces parties. En d'autres termes, plus les participants obtiennent un score élevé aux jeux, plus ils atteignent des niveaux élevés.

Résumé de l'ensemble des résultats

Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves ?

- Il existe des *différences significatives entre les scores obtenus à l'échelle WNV (au T2)* entre le groupe témoin et le groupe d'expérimentation *Digisthésia.*

Etude 2 : Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est plus adapté aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ?

- L'entraînement avec le logiciel *Digisthésia* a eu une influence positive sur les 2 populations (sourdes/ entendantes); de manière intéressante, il a eu un effet plus accentué dans le cas des participants sourds et malentendants.
- Le logiciel *Digisthésia* est plutôt *adapté aux spécificités des personnes sourdes et malentendantes.*

Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ?

- Il existe une *corrélation positive* entre 3 *des sous-échelles de l'échelle non-verbale de Weschler* (Matrice, Code, Mémoire spatiale) et *3 jeux éducatifs* du logiciel *Digisthésia* (La chasse au trésor, Débarquement, Piège de la cascade).

Etude 4 : Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ?

- *Le temps de réaction est négativement corrélé* avec *le niveau de jeu* dans le cas des 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia :* « Chasse au trésor », « Piège de la cascade » et « Débarquement ».
- Il existe des corrélations positives entre les niveaux maximum atteints pendant les parties des jeux du logiciel *Digisthésia* et les scores obtenus pour ces parties.

VI. Etude de cas

Nous allons continuer notre analyse avec la présentation et la description de 4 études de cas. Parmi les élèves sourds et malentendants qui ont utilisé notre outil, 4 sujets ont retenu notre attention : 2 participants (Y et N) qui ont obtenu des scores élevés aux jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* et 2 participants (K et No) qui ont réalisé des scores faibles au même logiciel. Nous allons commencer cette partie avec la présentation des leurs profils et ensuite, nous allons réaliser des comparaisons croisées entre ces 4 participants. L'analyse des traces des activités nous a permis d'observer les stratégies spontanées utilisées par les élèves, leurs capacités d'analyse, leurs erreurs et aussi leur évolution pendant l'utilisation du logiciel *Digisthésia*.

A. Etude de cas 1 : Y.

Nous allons commencer notre analyse avec la présentation de Y. Afin d'obtenir plus d'informations sur son histoire, nous avons contacté le psychologue de l'O.V.E. et aussi l'enseignante spécialisée de l'ULIS.

Y. a 14 ans et est une élève en 6è2. Elle a été diagnostiquée avec une surdité sévère bilatérale à l'âge de 6 ans. Il est important de préciser qu'elle a été appareillée tardivement.

Le contexte familial de Y. est problématique. Les parents de Y. sont divorcés et actuellement, elle habite chez son oncle et sa tante. Après le divorce, la mère est retournée vivre au Maroc avec ses autres enfants. Y. a encore 4 frères et sœurs, dont 2 sont sourds. Le père habite toujours à Lyon mais actuellement il est remarié et Y. a encore 4 demi-frères/sœurs. Elle refuse de déménager avec le père et la nouvelle famille du père. Le psychologue considère que le père est sans autorité parentale et ils ont décidé d'envoyer Y. chez son oncle et la tante (la sœur de la mère). Elle a observé des troubles du comportement chez Y., elle est une élève qui peut être blessante et agressive avec les autres élèves. D'ailleurs, Y. souffre d'énurésie nocturne et de somnambulisme.

L'enseignante spécialisée de l'ULIS du collège, nous a avoué que Y. rencontre des difficultés surtout en mathématiques, en histoire et géographie. Même si Y. a une bonne réception, l'enseignante a remarqué aussi dans son cas des difficultés d'expression. Par conséquent, Y. a 5 heures en plus par semaine, 5h de soutien en rédaction, lecture et mathématiques.

Nous avons observé que Y. était attentive à toutes les consignes et très motivée à participer à cette recherche. Elle n'a pas encore une tablette numérique à la maison mais elle m'a avoué qu'elle avait beaucoup aimé la tablette et les jeux.

Afin de réaliser des comparaisons croisées, nous allons présenter les scores obtenus de Y aux différentes échelles.

Durant notre première séance avec Y., nous avons fait passer l'échelle d'intelligence de Wechsler. Les scores obtenus aux subtests de la WNV sont les suivants :

Notes brutes :

- Matrices : 22
- Code : 52
- Mémoire spatiale : 18
- Arrangements d'images : 18

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 50
- Code : 30
- Mémoire spatiale : 58
- Arrangements d'images : 53

La somme des notes T est 195, en conséquence, la note d'échelle totale est de 95. En conclusion, nous pouvons affirmer que Y. se trouve dans la zone moyenne.

La dernière séance avec Y. consistait à faire passer à nouveau la WNV. Cette séance a eu lieu un an et deux mois après la première passation. Les résultats sont les suivants :

Notes brutes :

- Matrices : 25
- Code : 54
- Mémoire spatiale : 14
- Arrangements d'images : 22

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 52
- Code : 45
- Mémoire spatiale : 42
- Arrangements d'images : 68

D'ailleurs, la somme des notes T est 207 et la note d'échelle totale est de 104. En conclusion, nous pouvons noter que Y. n'a pas changé de zone, elle se trouve toujours dans la zone moyenne.

De notre point de vue, la séance la plus intéressante de notre protocole a été la deuxième. Nous avons gardé la description et la présentation de cette séance pour la fin.

En début de séance, nous avons fixé avec Y. quelques règles pour l'utilisation de la tablette et aussi nous avons présenté les consignes générales.

Il est important de préciser que nous avons présenté les 4 jeux dans le même ordre que Wechsler : « Chasse au trésor » (« Matrices »), « Débarquement » (« Code »), « Piège de la cascade » (« Mémoire spatiale ») et « Puzzle » (« Arrangements d'images »).

D'ailleurs, nous avons commencé cette séance avec la description du jeu « Chasse au trésor ». Au début, nous avons montré à Y. quelques items de démonstration et après nous l'avons laissé jouer toute seule pendant quelques minutes afin de s'assurer qu'elle a bien compris les consignes. Ensuite, nous avons continué de cette manière pour les autres 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia*.

Pour résumer, les scores obtenus aux jeux sont :

- Chasse au trésor : 4726
- Débarquement : 6051
- Piège de la cascade : 235
- Puzzle : 3183

En conclusion, après l'utilisation du logiciel *Digisthésia*, dans le cas de Y., nous avons observé une évolution croissante entre les 2 scores de la note totale de l'échelle. Plus précisément, Y. passe d'une note totale de 95 à une note de 104. Cependant, même s'il y a une évolution des scores, Y. reste toujours dans la zone moyenne. Ces observations sont consistantes avec les résultats qui ont été présentés dans la première partie du Chapitre 4. En effet, cela signifie que notre logiciel *Digisthésia* a eu une influence positive sur ses scores.

B. Etude de cas 2 : K.

Un autre élève qui a attiré notre attention est K., 12 ans, élève en 6è2. Il a été diagnostiqué avec une surdité évolutive due à un CMV (Cytomégalovirus). Plus précisément, il est atteint d'une cophose au niveau de l'oreille droite et d'une surdité moyenne au niveau de l'oreille gauche. Il est important de noter que son appareil auditif est équipé du système CROS. K. porte aussi des lunettes après le diagnostique d'astigmatisme et d'hypermétropie. Il utilise la stratégie de suppléance mentale et finalement il réalise 84% de récupération en lecture labiale. Il nous semble important de préciser que nous avons retrouvé ces informations dans le rapport donné par le psychologue de l'établissement scolaire.

Son milieu familial est aussi perturbé. Ses parents sont divorcés et actuellement, K. habite aves les grands-parents. C'est un enfant qui a été élevé par les grands-parents. Il demande souvent de voir sa maman qui n'habite pas à Lyon.

Le psychologue de l'O.V.E. a remarqué que K. est anxieux et peu sûr de lui et qu'il présente une grande lenteur et fatigabilité. Il n'a pas de vestibule dans l'oreille d'ou il y a un problème important d'équilibre. Il fait des séances d'ergothérapie afin de récupérer son retard psychomoteur. Par conséquence, la rééducation est très importante dans le cas de K.

Dans le cas de K., l'enseignante spécialisée a observé une compréhension faible, un niveau de vocabulaire faible et pas très varié, un langage très hétérogène et aussi un retard non pathologique et une articulation difficile. Le raisonnement logico-mathématique est assez bien, la conservation est fragile mais il a des bonnes connaissances de surface. Cependant, K. a une attention sélective, une bonne vitesse de lecture et aussi un bon stock orthographique.

Nous avons observé que K. était aussi motivé de participer à cette recherche. Il avait déjà une tablette tactile à la maison et il m'avait avoué qu'il joue beaucoup sur la tablette.

Nous avons suivi la même démarche avec K. Lors de notre première séance avec lui, a eu lieu la passation de l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler.

Les scores obtenus aux subtests de la WNV sont présentés par la suite :

Notes brutes :

- Matrices : 16
- Code : 20
- Mémoire spatiale : 8
- Arrangements d'images : 4

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 38
- Code : 21
- Mémoire spatiale : 28
- Arrangements d'images : 25

La somme des notes T est 112, par conséquent, la note obtenue d'échelle totale est de 52. Autrement dit, K. se situait dans la zone très faible.

Enfin, la dernière séance avec K. nous a permis de repasser l'échelle de la WNV. Cette séance a eu lieu un an et demi après la première passation de la WNV. Les résultats obtenus au T2 sont les suivants :

Notes brutes :

- Matrices : 15
- Code : 42
- Mémoire spatiale : 14
- Arrangements d'images : 6

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 35
- Code : 38
- Mémoire spatiale : 44
- Arrangements d'images : 28

Par ailleurs, la somme des notes T est 145 et la note d'échelle totale est de 72. Nous pouvons conclure que K. a évolué et il est passé de la zone très faible dans la zone limite.

Concernant la séance entre les 2 passations de l'échelle de la WNV, séance dédiée aux remontées de l'utilisation de la tablette, nous avons procédé de la même manière avec les 4 élèves. Les résultats obtenus aux 4 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* sont :

- Chasse au trésor : 1672
- Débarquement : 3659
- Piège de la cascade : 162
- Puzzle : 118.

En conclusion, après l'utilisation du logiciel *Digisthésia*, dans le cas de K., nous avons aussi remarqué une évolution entre les 2 scores de la note totale de l'échelle. Précisément, K. passe d'une note totale de 52 à une note de 72. De manière intéressante, il est à noter que K. passe d'une zone très faible à une zone limite. Par conséquent, nous observons aussi une influence positive du logiciel *Digisthésia* sur ces scores. De plus, ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus dans la première partie du chapitre.

C. Etude de cas 3 : N.

N. a 11 ans, est en 5è1 et il est atteint d'une surdité bilatérale profonde. Il a été implanté de l'oreille droite et il a un appareil à l'oreille gauche. Sans lecture labiale il est capable de 80% de réception. N. souffre aussi de dysphasie, des troubles de l'attention et des

troubles du développement du langage sont aussi présents. La psychologue a identifié un comportement puéril et il refuse l'aide de l'AVS[82].

Son profil est très hétérogène et l'enseignante spécialisée a remarqué des compétences linguistiques faibles et aussi une compréhension verbale faible. Elle a aussi précisé que ses cours de français sont en lien avec les séances d'orthophonie.

D'ailleurs, son bilan neuropsychologique a montré que N. est très faible en identification de concept.

Par conséquence, N. a besoin d'une prise en charge adaptée à son trouble du langage et aussi il a besoin de temps pour s'exprimer. Dans le futur, l'objectif serait son inclusion avec les élèves de l'ULIS[83] TSLP[84] en 5è.

Nous avons observé que N. a été le plus motivé de tous les élèves. A chaque début de séance il m'attendait à la porte de la salle et il était impatient, il voulait qu'on joue tout de suite. Il n'attendait pas que nous rangions nos affaires. L'enseignante m'avait avoué qu'il lui demandait souvent quand je serais de retour à l'école pour « jouer avec lui ».

Lors de notre premier rendez-vous, nous avons aussi testé N. Les scores obtenus aux subtests de la WNV sont:

Notes brutes :

- Matrices : 16
- Code : 34
- Mémoire spatiale : 16
- Arrangements d'images : 10

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 41
- Code : 42
- Mémoire spatiale : 55
- Arrangements d'images : 42

Nous avons fait les calculs nécessaires et notre conclusion est que la somme des notes T était 180 et la note d'échelle totale est de 89. N. se situe dans la zone moyenne faible.

82 AVS : l'auxiliaire de vie scolaire

83 ULIS : Les Unités Localisées pour l'Inclusion Scolaire ;

84 TLSP : Troubles Spécifiques du Langage Ecrit et de la Parole

La deuxième passation de l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler a eu lieu à la dernière séance, un an après la première passation. Les résultats obtenus sont présentés par la suite:

Notes brutes :

- Matrices : 21
- Code : 41
- Mémoire spatiale : 12
- Arrangements d'images : 14

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 52
- Code : 47
- Mémoire spatiale : 44
- Arrangements d'images : 50.

Effectivement, les calculs ont montré que la somme des notes T est 193. Par conséquent, la note obtenue d'échelle totale est de 96. En conclusion, N. a évolué de la zone moyenne faible dans la zone moyenne.

Après l'utilisation du logiciel *Digisthésia*, nous pouvons noter que N. a obtenu les suivants scores:

- Chasse au trésor : 2213
- Débarquement : 5355
- Piège de la cascade : 387
- Puzzle : 9666.

Pour conclure, dans le cas de N., nous avons aussi constaté des changements après l'utilisation du logiciel *Digisthésia.* Précisément, il existe une évolution entre les 2 scores de la note totale de l'échelle (de 89 à 96). De plus, il passe d'une zone moyenne faible à une zone moyenne. D'ailleurs, nos observations sont bien consistantes avec les autres résultats présentés précédemment.

D. Etude de cas 4 : No.

No., 13 ans, a été diagnostiqué avec une surdité profonde. Il a un implant à l'oreille droite (entre 80/90%) et une prothèse à l'oreille gauche (80/90%). Sa capacité de réception est bonne et aussi sa lecture labiale. Cependant, il est fragile au niveau linguistique.

Son œil droit est moins actif et actuellement il exécute un bilan orthoptique.

Le bilan neuropsychologique a indiqué une petite mémoire de travail, pas des difficultés attentionnelles et la conceptualisation est possible.

Nous avons observé que No. était le seul élève de notre échantillon qui n'était pas motivé de participer à cette recherche. Il avait déjà une tablette à la maison et il m'avait avoué qu'il aime que les jeux avec les voitures. Il n'avait pas beaucoup apprécié que nos jeux n'aient pas des voitures.

La première passation de l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler a eu lieu pendant le premier rendez-vous avec No. Les scores obtenus aux subtests de la WNV sont les suivants:

Notes brutes :

- Matrices : 18
- Code : 50
- Mémoire spatiale : 13
- Arrangements d'images : 10

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 41
- Code : 43
- Mémoire spatiale : 41
- Arrangements d'images : 35.

Par ailleurs, nous avons calculé et la somme des notes T était 160 et la note d'échelle totale est de 78. Ces résultats nous permettent de situer No. dans la zone limite.

La deuxième passation de l'échelle non-verbale de l'intelligence de Wechsler a eu lieu pendant la dernière séance, un an et quatre mois après la première passation. Les résultats obtenus sont présentés par la suite:

Notes brutes :

- Matrices : 16
- Code : 49
- Mémoire spatiale : 15
- Arrangements d'images : 12

Conversion des notes brutes en notes T :

- Matrices : 38
- Code : 43
- Mémoire spatiale : 47
- Arrangements d'images : 39.

Effectivement, les calculs ont montré que la somme des notes T est 167 et aussi que la note obtenue d'échelle totale est de 82. En conclusion, No. a progressé de la zone limite dans la zone moyenne faible.

Par la suite, nous présentons les scores obtenus par No. aux 4 jeux du logiciel *Digisthésia* :

- Chasse au trésor : 2302
- Débarquement : 3782
- Piège de la cascade : 190
- Puzzle : 4912.

Par conclure, nous pouvons aussi noter une évolution des scores et une petite progression dans le cas de No. Par ailleurs, No. passe d'un score de 72 pour la note totale de l'échelle à un score de 82. Cela signifie qu'il passe aussi d'une zone limite à une zone moyenne faible. Par conséquent, nous pouvons aussi remarquer l'influence positive du logiciel *Digisthésia* sur ses scores. Enfin, notre dernière remarque est que ces résultats sont consistants avec ceux présentés dans la première partie du Chapitre 4.

E. Comparaisons entre les 4 élèves

Par la suite, nous allons analyser l'activité de chaque élève et aussi le positionnement de l'élève par rapport à nos hypothèses.

Tout d'abord, nous allons regarder l'activité des élèves sur les tablettes, plus précisément combien de parties ils ont joué pour chaque jeu.

Tableau 30. Nombre de parties jouées par jeu

	Chasse au trésor	Débarquement	Piège de la cascade	Puzzle
K	2	2	1	1
N	15	17	19	17
No	8	6	2	1
Y	26	11	23	1

Nous pouvons noter la discrépance entre le nombre de parties jouées par K. et No. versus N. et Y. Nous pouvons aussi noter la préférence à l'unanimité pour le premier jeu

éducatif « Chasse au trésor ». Par contre, nous avons aussi repéré que le « Puzzle » n'a pas été apprécié par les élèves, sauf par N. En conséquence, ces élèves n'ont pas beaucoup joué à ce jeu, observation en accord avec la tendance générale des joueurs.

Nous rappelons que notre première hypothèse suppose que la médiation par les nouvelles technologies renforcerait les potentialités cognitives des élèves (Etude 1). De plus, nous cherchons à savoir si notre logiciel *Digisthésia* est plus adapté aux particularités des utilisateurs sourds et malentendants (Etude 2). Concernant ces hypothèses, nous avons observé que, globalement, il existe des différences entre les scores obtenus à la première passation et à la deuxième passation pour ces 4 élèves. Plus précisément, Y. passe d'une note d'échelle totale (QI) de 95 à une note de 104, K. passe d'une zone très faible (notre d'échelle totale = 52) à une zone limite (note d'échelle totale = 72), N. change aussi la zone, il passe d'une zone moyenne faible (note d'échelle totale = 89) à une zone moyenne (note d'échelle totale = 96) et No. évolue aussi, il passe d'un score de 78 (zone limite) à un score de 82 (zone moyenne faible). En analysant les scores des ces 4 élèves aux jeux du logiciel *Digisthésia*, nous avons observé une évolution pour les 4 participants. Cependant, nous avons remarqué une grande évolution croissante seulement pour 2 (Y. et N.) parmi les 4 élèves. En conclusion, ces observations sont en accord avec les résultats présentés en première partie et nous pouvons aussi valider ces premières hypothèses.

Nous avons aussi analysé les 3 subtests de l'échelle de l'intelligence de Wechsler qui sont rentrés dans le périmètre de notre analyse (« Matrices », « Code » et « Mémoire spatiale ») pour les 4 participants sélectionnés (Etude 3). Globalement, nous avons remarqué qu'il existe des différences significatives entre les scores obtenus aux subtests de la WNV entre la première et la deuxième passation. En général, nous avons observé des scores systématiquement plus grands pour la deuxième passation aux subtests de l'échelle non-verbale d'intelligence de Wechsler.

Par la suite, nous allons donner des exemples concrets, les scores obtenus par nos 4 participants sélectionnés.

Concernant le subtest « Matrices », nous pouvons noter que Y. est passé d'un score de 22 à 25, K. est passé de 16 à 15. N. a changé son score et il a obtenu un score de 16 (pour le T1) et de 21 (pour le T2) et No. a involué de 18 à 16.

Concernant l'autre subtest, le « Code », Y. est passé de 52 à 54, K. a évolué d'une manière significative, il est passé de 20 à 42. N. a obtenu un score de 34 (pour le T1) et de 41 (pour le T2) et No. est descendu de 50 à 49.

Nous avons réalisé la même analyse pour le troisième subtest, la « Mémoire spatiale ». Par conséquent, Y. a changé son score, il est passé de 18 à 14, K. a obtenu un score de 8

(pour le T1) et de 14 (pour le T2), N. passe d'un score de 16 (T1) à un score de 12 (T2) et No. de 13 à 15.

Tableau 31. Récapitulatif scores du WNV T2 et ceux des jeux *Digisthésia*.

	Chasse au trésor	Matrices	Débarquement	Code	Piège de la cascade	Mémoire spatiale	Puzzle	Arrangement d'images
K	1672	15	3659	42	162	14	118	6
N	2213	21	5355	41	387	12	9666	14
No	2302	16	3782	49	190	15	4912	12
Y	4726	25	6051	54	235	14	3183	22

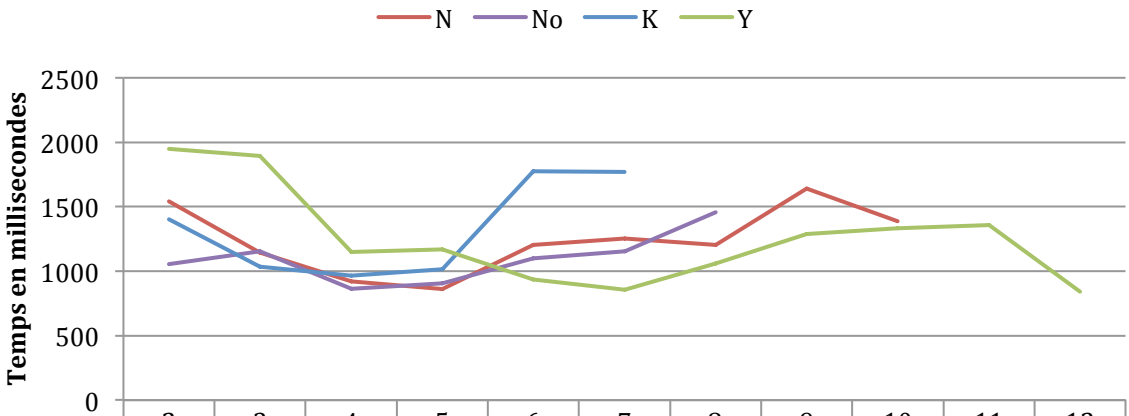
Pour conclure, nous pouvons valider les hypothèses de l'étude 2 et aussi de l'étude 3.

En rapport avec l'étude 4 qui porte sur le lien entre le temps de réaction du sujet pour un essai et le niveau de difficulté du tour, nous allons présenter, au début, le temps moyen de réaction pour tous les participants.

Nous avons choisi d'illustrer ici que l'exemple du jeu éducatif « Chasse au trésor » pour les 4 sujets. La première motivation du choix est le fait que ce jeu étant un des plus préférés et avec un nombre plus important de niveaux, la quantité de données est plus significative. Deuxièmement, nous avons observé les mêmes caractéristiques pour les autres jeux du logiciel *Digisthésia* qui sont rentrés dans le périmètre de notre analyse. Par conséquent, il serait redondant de présenter tous les jeux.

Le Tableau 32 présente le temps moyen de réaction d'un essai par niveau de difficulté du tour pour les 4 élèves sélectionnés pour ce jeu.

Tableau 32. Temps moyen de réaction par niveau pour le jeu « Chasse au trésor ».



	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	1542	1145	922	862	1202	1254	1206	1641	1387		
No	1055	1154	864	906	1102	1156	1457				
K	1403	1036	965	1017	1776	1773					
Y	1950	1895	1152	1172	935	856	1059	1291	1331	1358	841

Un exemple intéressant qui pourrait illustrer cette étude, est l'exemple de Y. Globalement, nous avons observé que le temps de réaction de Y. varie en fonction du niveau de chaque partie. Concernant le jeu « Chasse au trésor », Y. a parcouru les 12 niveaux, en se situant à un niveau expert. Plus précisément, elle a commencé au niveau 2 (1950 ms), ensuite elle est passée au niveau 3 (1895 ms), niveau 4 (1152 ms) jusqu'au niveau 12 (841 ms). Dans son cas, nous observons que le temps de réaction qui diminue en fonction de l'acquisition de l'expérience au jeu.

Nous avons fait la même analyse pour K. et nous avons observé que le temps de réaction diffère en fonction du niveau du jeu. K. a commencé avec le niveau 2 (1403 ms), après il est passé au niveau 3 (1036 ms), puis au niveau 4 (965 ms) et au niveau 5 (1017 ms). Les niveaux 6 et 7 étaient trop compliqués pour lui et il a mis plus de temps (1776 ms et 1773 ms).

L'analyse d'activité de N. a aussi relevé la même hypothèse, c'est-à-dire, le lien fort entre le temps de réaction et le niveau. N. a commencé au niveau 2 (4542 ms) et il est arrivé au niveau 10 (1387 ms). Comme dans le cas des autres élèves, nous pouvons remarquer que pour les derniers niveaux, l'élève a besoin de moins de temps en comparaison avec les niveaux antérieurs.

La dernière analyse sur l'activité de No. a confirmé encore une fois la liaison entre les temps de réaction des sujets et le niveau de difficulté au jeu. Plus précisément, No. a commencé avec le niveau 2 (1055 ms) et il est arrivé au niveau 8 (1457 ms).

Après l'analyse de l'activité de ces 4 participants, nous pouvons aussi confirmer l'hypothèse de l'Etude 4.

En conclusion, nous avons corrélé nos observations personnelles avec les résultats statistiques présentés antérieurement et nous pouvons tirer les mêmes conclusions.

Chapitre 5. Discussion des résultats

Les recherches menées dans cette thèse visaient à analyser le processus d'apprentissage par le biais de tablettes numériques. L'objectif général était de tester quelle est l'influence de ces nouvelles technologies sur l'apprentissage des élèves.

Ce chapitre synthétise les résultats obtenus à travers les quatre études. Ensuite nous analyserons les résultats en apportant des hypothèses explicatives pour les données recueillies. Nous allons aussi discuter les implications pratiques de ces derniers. La dernière partie du chapitre présentera les limites et les perspectives de la recherche.

En conséquence, les quatre études menées ont apporté des résultats différents.

I. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves?

La première étude avait pour objectif d'étudier quelle est l'influence du logiciel éducatif *Digisthésia* sur le processus d'apprentissage des participants. Cette étude est en relation avec notre première hypothèse qui supposait que les tablettes tactiles influenceraient positivement l'apprentissage des élèves.

Après l'analyse statistique, les résultats ont montré qu'il existe des différences significatives entre les deux groupes (entre le groupe témoin et le groupe entraînement) concernant les scores obtenus à l'échelle WNV après l'utilisation du didacticiel *Digisthésia*. Cela montre l'influence positive du logiciel *Digisthésia* sur les scores de ces tests.

De plus, ces résultats ont indiqué une amélioration que sur chacune des 3 capacités cognitives: l'attention, la mémoire et la vitesse de traitement. A cause du nombre limité de sujets, nous n'avons pas pu conclure sur l'amélioration de la capacité de résolution des problèmes des élèves.

La question de l'impact des nouvelles technologies sur le développement cognitif de la personne subsiste. En effet, notre étude ainsi que d'autres (McCabe, 2011; Morris et *al*., 2012) montrent que les nouvelles technologies ont une influence positive sur le développement cognitif de la personne. Il a été montré notamment que le numérique virtuel encourage la mémoire de travail et favorise la pensée par analogies et contiguïtés, avec un support spatial.

De plus, plusieurs travaux (Campigotto, McEwen et Demmans Epp, 2013 ; Ferrer, Belvis et Pamies, 2011) ont relevé une influence positive sur le processus d'apprentissage. Par conséquence, nos résultats vont dans le sens des études mentionnées antérieurement.

Nos résultats sont aussi consistants avec de nombreux travaux de recherche (Wouters, Nimwegen, van Ootendorp et Van der Spek, 2013) qui ont montré les effets positifs des

serious games sur le processus d'apprentissage. Par exemple, Wouters, Nimwegen, van Ootendorp et Van der Spek (2013), dans leur étude portant sur l'influence des logiciels éducatifs sur l'apprentissage, avaient pointé qu'il existe des effets positifs des serious games sur les performances d'apprentissage comparativement à des situations plus traditionnelles. En effet, les jeux sérieux donnent une liberté dans les prises de décision et augment la motivation de l'apprenant.

La question de l'influence des écrans sur notre cerveau est au cœur des préoccupations actuelles. L'explication serait que notre cerveau intègre les outils numériques dans ses circuits neuro-culturels et que les formes d'intelligence intuitive et spatiale sont les plus valorisées dans les relations avec les écrans (Dehaene, 2007). Des études ont montré que le cerveau d'une personne s'atrophie au moment ou il arrête la création de nouveaux patterns. Il est essentiel que notre cerveau soit en permanence stimulé par des nouveaux modèles/patterns. Comme nous avons vu dans la revue de littérature (Chapitre I, 3ème Partie), la théorie du Fun de Ralph Koster (2005) peut expliquer le succès du jeu sérieux et celle d'Edgar Dale (1969) sur la « courbe d'apprentissage » peut expliquer l'efficacité de jeux sérieux.

De plus, de notre expérience avec les enfants, nous avons observé qu'ils utilisent les tablettes tactiles avec une grande facilité et rapidité. Les tablettes numériques sont des instruments à forte intuitivité dont l'utilisation est ludique. De manière intéressante, nos résultats vont dans le sens de ceux des études citées précédemment. Par exemple, plusieurs travaux (Bétrancourt et Bozelle, 2012 ; Houdé, Dehaene, 2013; Lachapelle-Bégin, 2012) ont pointé que l'ergonomie simplifiée de la tablette et aussi la possibilité de manipuler directement avec le doigt a une influence positive sur le développement cognitif des élèves.

En outre, dans le rapport de préliminaire de Karsenti et Fievez (2013), nous avons retrouvé d'autres avantages des tablettes tactiles comme : une motivation accrue (Kinash, Brand et Mathew, 2012; Sachs et Bull, 2012; Wainwright, 2012), l'accès et le partage de l'information seraient facilités (Babnik et al., 2013; Fri-Tic, 2012; Hahn et Bussell, 2012; Martin, Berland, Benton et Smith, 2013), l'apprentissage et les performances des élèves seraient favorisés (Churchill, Fox et King, 2012; Fernández-López, Rodríguez-Fórtiz, Rodríguez-Almendros et Martínez-Segura, 2013; Isabwe, 2012; Lau et Ho, 2012; McKechan et Ellis, 2012; Ostler et Topp, 2013; Rossing, Miller, Cecil et Stamper, 2012), l'apprentissage individualisé serait augmenté (voir McClanahan, Williams, Kennedy et Tate, 2012; Wasniewski, 2013), la communication et la collaboration seraient accrues (Geist, 2011; Henderson et Yeow, 2012; Hutchison, Beschorner et Schmidt-Crawford, 2012), la créativité des élèves serait plus importante

(Sullivan, 2013) et les avantages pour les élèves avec des difficultés d'apprentissage seraient importants (McClanahan et *al*., 2012)[85].

En conclusion, cette étude a confirmé les hypothèses évoquées dans la littérature au cours du Chapitre I, 3ème Partie sur les « Nouvelles technologies ». Enfin, nous pouvons confirmer notre première hypothèse.

Il nous semble important de préciser que ces différentes données ont une influence directe sur la pratique. Cette étude est intéressante parce qu'elle suit l'évolution des élèves en étudiant les changements et les progrès au niveau de l'apprentissage. Les résultats de ce travail peuvent contribuer au développement de la méthodologie traditionnelle d'apprentissage.

Par ailleurs, la médiation par les nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des enfants sourds et malentendants. Ce progrès peut être constaté soit d'un point de vue quantitatif (plus d'informations apprises) ou d'un autre point de vue qualitatif (sédimentation de l'information).

Enfin, dans notre étude, nous avons remarqué que les nouvelles technologies influencent positivement le processus d'apprentissage de tous les élèves. De plus, nous avons observé aussi l'amélioration de 3 paramètres importants : l'attention, la mémoire, et la vitesse de traitement.

En conclusion, nous pouvons valider notre première hypothèse et partiellement la deuxième hypothèse.

II. Etude 2. Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté plus aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ?

L'objectif général de notre thèse était de construire un logiciel éducatif plus adapté aux besoins des élèves sourds et malentendants. En conséquence, nous nous sommes interrogés si cet outil, *Digisthésia,* est réellement adapté aux personnes déficientes auditives ?

En effet, la deuxième étude consistait à évaluer si notre didacticiel correspond plus aux particularités des utilisateurs déficients auditifs plutôt qu'à ceux entendants. Les résultats ont montré que l'entraînement avec le logiciel *Digisthésia* a eu une influence positive sur les 2 populations (sourdes/ entendantes). De plus, il a eu un effet plus

85 Karsenti, T. et Fievez, A. (2013). *L'iPad à l'école: usages, avantages et défis : résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Quebec.* Montréal, QC : CRIFPE.

accentué dans le cas des participants sourds et malentendants. En conclusion, nos résultats ont relevé que notre didacticiel est plus adapté aux spécificités des personnes sourdes et malentendantes.

Il existe plusieurs arguments importants qui montrent que notre logiciel *Digisthésia* est adapté aux besoins et aux particularités des personnes sourdes et malentendantes. Parmi ces arguments, nous pouvons énumérer l'interface qui a été conçue pour être adaptée aux capacités des élèves sourds et malentendants. Nous avons conçu les éléments ergonomiques afin de rendre complétement intuitive la prise en main de chaque jeu. En plus, le design qui met en œuvre l'ergonomie a un double rôle : habiller le contenu et mettre en évidence les éléments interactifs et importants. Dans le cas des personnes sourdes et malentendantes, plusieurs recherches (Burgess, Shaw, Larew, Oellette et Long, 2000; Repas, Roberts, Gramly, Cole et Kunz, 1982; Walters, 2004) ont insisté sur les matériaux écrits fortement illustrés.[86] Nous avons décrit ces éléments dans le troisième chapitre « Méthodologie », Section « Création ».

Un autre argument serait la mise en relation du fonctionnement de *Digisthésia* avec notre sujet de la thèse. Pour rappel, l'objectif général de ces jeux éducatifs était de mesurer et entraîner des caractéristiques cognitives comme l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire spatiale ainsi que la résolution de problèmes. Notre logiciel contient des jeux éducatifs avec un degré de difficulté croissant par rapport aux performances du sujet. De plus, nous avons indiqué d'autres fonctionnalités du logiciel *Digisthésia* comme le suivi continu, le traçage et la personnalisation de l'activité en fonction du niveau de chaque utilisateur.

Comme nous l'avons vu dans la partie « Méthodologie », notre logiciel *Digisthésia* a été inspiré d'un autre projet (TERENCE) adapté aux besoins des sourds et des malentendants. Ce projet européen s'intéressait à la conception et à la création d'un Système d'Enseignement Adaptif (SEA) pour les élèves sourds et malentendants anglais et italiens et leurs professeurs. De plus, l'outil visait à aider les professeurs dans leur travail avec des élèves entre 7-11 ans qui ont des problèmes profonds de compréhension de texte. Comme dans notre cas, le logiciel TERENCE travaillait autour de 4 capacités cognitives des élèves sourds et malentendants : compréhension de texte, attention visuelle, concentration et mémoire.

D'ailleurs, notre objectif était de créer un logiciel adapté aux besoins spécifiques des personnes sourdes et malentendantes. Dans la conception de notre outil, nous avons pris en compte 3 bonnes pratiques que nous avons retrouvées dans les spécifications du projet TERENCE. Comme nous l'avons précisé auparavant, lors de la création du logiciel

86 Pollard Jr, R. Q., Dean, R. K., O'Hearn, A. et Haynes, S. L. (2009). Adapting health education material for deaf audiences. *Rehabilitation psychology, 54*(2), 232.

Digisthésia, nous avons essayé de simplifier le contenu, d'éviter les facteurs perturbateurs (comme animation, clignotement, etc.) sur les éléments d'interface et aussi d'éliminer les tâches multiples en simultané (nous savons que les personnes sourdes et malentendantes ont des difficultés dans la gestion de multitâches).[87]

Enfin, nous rappelons que la valeur ajoutée du logiciel *Digisthésia* par rapport à un outil « classique » est évidente. Nous pouvons citer parmi les avantages de cet outil l'intuitivité de l'interface, l'autonomie de l'utilisateur, la continuité du suivi, la visibilité en temps réel des données, la non-intrusion dans l'univers de l'utilisateur, l'adaptabilité de la difficulté du contenu et la ludification de l'entraînement cognitif.

Pour étudier la réaction différente des deux populations de joueurs aux jeux, il ne convient pas de regarder des indicateurs quantitatifs (score, nombre de parties jouées/gagnées, etc.) mais plutôt des indicateurs qualitatifs. Nous allons donc prendre en compte les temps moyens de réaction pour un essai pour chaque niveau d'un jeu. Nous allons comparer les résultats du groupe de personnes déficientes auditives avec le groupe des élèves entendants.

A cause de la différence importante entre la taille des groupes de joueurs pris en compte pour la « Puzzle » et pour la « Chasse au trésor » (rapport de 1/3 entre la taille des sous-groupes entendants/sourds et malentendants), nous sommes obligés d'écarter ces deux jeux de l'analyse. Nous allons donc nous pencher sur les résultats pour les jeux « Piège de la cascade » et « Débarquement ».

En effet, nous avons remarqué que les élèves sourds et malentendants ont obtenu de meilleurs scores (temps moyen de réaction plus court) que les utilisateurs entendants pour le jeu éducatif « Piège de la cascade » (cf. Figure 43). Parallèlement, nous avons constaté que les élèves entendants ont obtenu pour le jeu « Débarquement » (cf. Figure 44) des meilleurs scores (temps moyen de réaction plus court) que les participants sourds et malentendants.

87 Mascio, T. D., Gennari, R., Melonio, A. et Vittorini, P. (2013). Designing games for deaf children: first guidelines. *International Journal of Technology Enhanced Learning, 5*(3-4), 223-239.

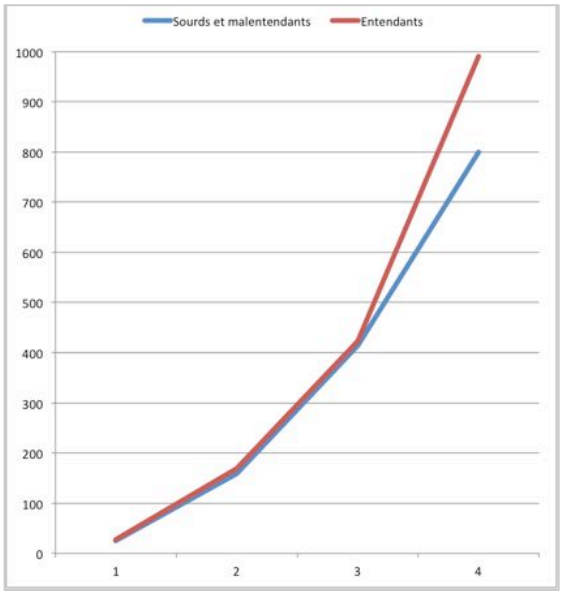


Figure 43. Vitesse de réaction moyenne par niveau pour le jeu « Piège de la cascade »

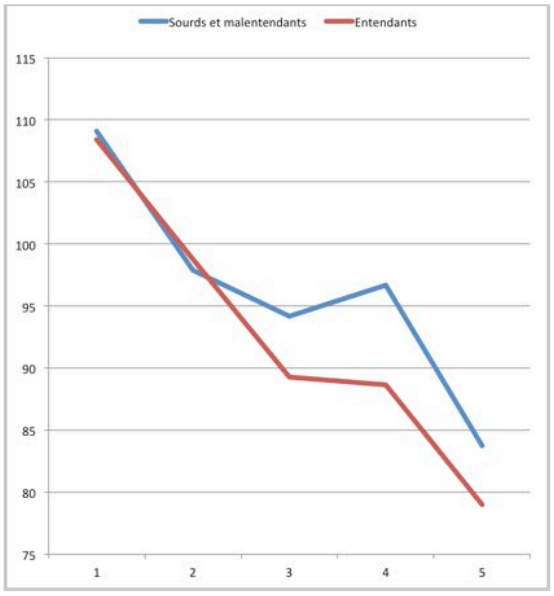


Figure 44. Vitesse de réaction moyenne par niveau pour le jeu « Débarquement »

Egalement, pour tenter de discuter cette hypothèse, nous pouvons faire référence aussi aux travaux qui portent sur les caractéristiques des capacités cognitives chez les personnes sourdes et malentendantes.

Plus précisément, nous pouvons donner l'exemple des études menées par Todmann et Cowdy (1993) sur la mémoire à court terme dans les cas des personnes sourdes et malentendantes. Selon eux, la mémorisation de figures complexes à court terme est plus développée pour les sourds et malentendants que pour les entendants. Dans le cas de la mémoire de travail, plusieurs ouvrages (Marschark et Mayer, 1998) ont relevé que les joueurs expérimentés sourds et malentendants ont les mêmes performances que ceux entendants, par contre les résultats des joueurs inexpérimentés entendants étaient nettement supérieurs à ceux de leurs homologues.

De plus, on pourrait citer les recherches de Pisoni et Geers (2000) portant sur le fonctionnement de la mémoire de travail phonologique dans le cas des enfants avec un implant cochléaire. En fait, ces chercheurs ont fait passer le test d'empan de chiffres de la WISC III aux élèves entedants mais aussi aux enfants sourds et malentendants. Leurs résultats ont pointé que les enfants entendants ont obtenu des meilleures performances que ceux déficients auditifs avec implant cochléaire. L'explication serait que les enfants avec une déficience auditive ont beaucoup de difficultés d'encodage verbal. Or, l'efficacité de la boucle phonologique est déterminée par plusieurs facteurs comme « l'âge chronologique », « la durée de l'expérience avec l'implant », « la précocité de la

pose de l'implant » ou « l'entrée auditive restaurée par l'implant est un signal dégradé»[88].

De manière intéressante, plusieurs études (Proksch et Bavelier, 2002) ont indiqué que les sourds et malentendants ont un bon rendement dans l'utilisation de la vision périphérique et c'est justement pourquoi leur attention est plus facilement perturbée lors du parasitage des zones périphériques de l'écran. En revanche, pour les entendants il a été observé un phénomène inverse : ils sont plus perturbés par des événements rentrant dans le champ focal. En effet, les analyses et les recherches (Ball et *al.*, 1988; Dye et *al*., 2009) ont constaté que les élèves sourds et malentendants ont des problématiques systématiques d'attention et concentration.

Effectivement, nos observations ainsi que d'autres études pointent certaines différences concernant la mémoire et le traitement visuo-spatiale entre les 2 groupes, entre les participants sourds/malentendants et entendants. Nos propos vont dans le sens de ceux présentés dans la littérature de spécialité, qui avaient plus particulièrement montré que les sujets sourds ont obtenu des meilleures performances sur la mémoire visuo-spatiale que les participants sans déficiences auditives. Il semble que les personnes sourdes et malentendantes favorisent le traitement visuel. Précisément, dans notre cas, les élèves sourds et malentendants ont obtenu des scores plus élevés au jeu « Piège de la cascade » qui testait notamment la mémoire visuo-spatiale de la personne.

Ensuite, les travaux sur la vitesse de traitement des personnes sourdes et malentendantes mettent en évidence une lenteur chez ces personnes. En conséquence, nos résultats et nos observations vont dans le même sens que de la plupart de travaux sur cette question. Précisément, les sourds ont été plus lents que les entendants au jeu éducatif « Débarquement » qui testait la vitesse de traitement.

De plus, comme nous l'avons évoqué dans la revue de littérature (Chapitre I.), les performances en mémoire de travail sont interdépendantes avec les performances obtenues en vitesse de traitement. Plusieurs recherches (Feyereisen et coll., 2002 ; Salthouse 1996) ont démontré que la vitesse de traitement de l'information est un intermédiaire indispensable entre plusieurs domaines de la cognition.[89] Cependant, il a été montré que la vitesse de traitement dans une activité visuelle (par exemple, le barrage de Zazzo) est influencée par le moment de l'apparition de la surdité. Plus

88 Krahe, J. L. (2007). *Surdité et Langage, Prothèses, LPC et implants cochléaires.* .Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes.

89 Hage, C., Charlier, B. et Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd: pistes d'évaluation*. Editions Mardaga.

précisément, les personnes sourdes congénitales sont plus rapides que les personnes devenues sourdes et que les sourds âgés.[90]

En conclusion, comme évoqué précédemment, notre question était de savoir si notre outil est plus adapté aux élèves sourds et malentendants qu'aux élèves entendants. Après l'analyse des résultats, nous pouvons conclure que le logiciel *Digisthésia* est plus adapté aux besoins des personnes sourdes et malentendants. Par conséquent, ces résultats confirment notre hypothèse 3.

III. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ?

La troisième étude consistait à valider la pertinence de notre outil éducatif *Digisthésia*. En effet, notre question était de savoir s'il existe une relation entre les sous-échelles de l'échelle non-verbale de Wechsler (« Matrices », « Code », « Mémoire ») et les 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* (« Chasse au trésor », « Débarquement », « Piège de la Cascade »).

Précisément, nos sous-hypothèses supposaient que le jeu éducatif « La chasse au trésor » est corrélé au subtest « Matrices » de l'échelle non-verbale WNV, que le « Débarquement » est corrélé avec la sous-échelle « Code » et finalement, que le jeu éducatif « Piège de la cascade » est aussi corrélé avec le sous-test de « Mémoire spatiale.

Afin de répondre à ces questions, nous avons réalisé des analyses corrélationnelles pour observer les corrélations entre ces différentes variables.

Les résultats des analyses corrélationnelles ont indiqué que le subtest « Chasse au trésor » est positivement corrélé avec la sous-échelle « Matrices ». Plus précisément, plus les élèves obtiennent de bonnes cotations à l'épreuve « Matrices » de la WNV, plus ils réalisent de bons scores au test « Chasse au trésor ». A l'inverse, plus les participants réalisaient des scores bas pour l'échelle « Matrice », plus ils reportaient de mauvais scores au jeu « Chasse au trésor ».

Egalement, l'étude corrélationnelle a relevé qu'il existe une corrélation significative positive entre le subtest « Code » et les scores obtenus au jeu « Débarquement ». En d'autres termes, plus les élèves réalisent des cotations élevées à l'échelle « Code », plus ils obtiennent de bons scores pour le jeu « Débarquement ». Inversement, plus les sujets obtiennent de mauvaises cotations au subtest « Code », plus ils obtiennent des scores faibles au jeu éducatif « Débarquement ».

90 Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, L., Groff, J. et Boucheix, J. M. (2013). Quel format visuel adopter pour informer les sourds et malentendants dans les transports collectifs. *Le travail humain, 70*, 57-78.

De plus, les analyses corrélationnelles ont indiqué une corrélation positive entre le jeu « Débarquement » du *Digisthésia* et le subtest « Mémoire spatiale » de l'échelle non-verbale de Wechsler et le subtest « Matrices ». Mais la corrélation entre le jeu éducatif « Débarquement » et l'épreuve « Code » et le est plus forte qu'avec celle les épreuves « Mémoire spatiale » et « Matrice ».

Enfin, nos résultats ont pointé une corrélation significative entre le subtest « Mémoire spatiale » et le jeu « Piège de la cascade ». En d'autres termes, plus les participants réalisaient des scores élevés au subtest « Mémoire spatiale », plus ils reportaient des scores élevés au « Piège de la cascade ». A l'opposé, plus les élèves obtenaient de mauvais scores à l'échelle « Mémoire spatiale », plus ils reportaient des scores faibles au jeu éducatif « Piège de la cascade ».

Pour conclure et discuter les résultats obtenus, nous pourrions penser que ces corrélations positives entre les différentes sous-échelles pourraient être dues au fait que certains des jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ont été inspirés des épreuves de Wechsler ainsi que des travaux de Lumos Lab et du projet TERENCE.

Avant la conception de notre outil éducatif *Digisthésia*, nous avons recherché dans la littérature de spécialité afin de trouver d'autres exemples de logiciels d'apprentissage. Notre objectif était de savoir comment on pourrait construire un tel logiciel et quels étaient les principes que nous pouvions suivre afin de retrouver la double valeur ajoutée : amélioration des capacité cognitives de tout joueur et une amélioration nettement supérieure pour les joueurs sourds et malentendants.

Par ailleurs, nous pouvons donner l'exemple d'un logiciel présenté dans un article scientifique par Hérold (2012). Il s'agit d'un logiciel d'apprentissage du traitement arithmétique simple, qui a été conçu pour des élèves de cinquième de collège. Ce didacticiel a pris en compte les spécificités et la variabilité de l'apprenant. Son objectif était d'analyser « l'activité cognitive de l'élève à partir d'un dispositif papier-crayon qui permettra d'établir des profils d'apprenants suffisamment solides pour le paramétrage d'un environnement numérique d'apprentissage » (Hérold, 2012, p. 1).[91]

Concernant la réalisation de l'outil, il est important de préciser qu'elle s'est déroulée en deux étapes : la spécifications des besoins et la conception du didacticiel. De plus, le déroulement de l'expérimentation s'est développé en 3 principales étapes: pré-test, test et post-test (qui était identique au pré-test). Les résultats ont autorisé la validation de cet outil d'apprentissage. D'ailleurs, ces résultats ont aussi montré l'efficacité de l'outil. Il avait le but de diminuer la charge cognitive, d'aider à la planification et de souligner la

91 Hérold, J. F. (2012). Analyse cognitive de l'activité de l'élève pour une personnalisation d'un environnement numérique d'apprentissage. *Revue STICEF, 19*, 285-307

représentation visuelle de la situation. Plus précisément, les élèves qui ont utilisé ce didacticiel ont obtenu des meilleurs résultats aux tâches arithmétiques que les autres qui n'ont pas utilisé ce logiciel.

Comme mentionné antérieurement, pour la réalisation de notre outil *Digisthésia*, nous avons pris en compte les mêmes bonnes pratiques et les indications générales. En conséquence, nos résultats vont dans le même sens que l'étude faite par Hérold (2012).

Nous pouvons aussi citer des exemples des logiciels dédiés aux personnes sourdes et malentendantes.

Ensuite, nous pouvons mentionner le jeu sérieux « Muséo » qui a été développé pour usage sur la tablette iPad d'Apple. Son but était d'autoriser les enfants sourds et malentendants « d'accéder visuellement à des ouvres muséographiques via des interfaces numériques et tactiles. Les contenus ont été conçus pour être faciles à comprendre pour tous y compris des enfants en difficulté de communication comme les enfants sourds ». Leur hypothèse supposait que l'interaction digitalisée facilite l'accès aux œuvres. L'échantillon était constitué des 12 enfants sourds âgés de 9 à 12 ans. Les chercheurs ont aussi constitué un groupe de contrôle afin de vérifier l'influence de l'iPad sur les personnes. Par conséquence, « le groupe de contrôle suivait une visite guidée avec le médiateur à la place de l'activité iPad ». L'expérimentation s'est déroulée fin 2010 dans le Musée du Quai Branly à Paris.

Les résultats ont indiqué que les utilisateurs de l'application « Muséo » ont une interprétation plus intime avec l'œuvre d'art. Egalement, ces résultats ont mis en évidence le développement de l'autonomie des participants qui ont utilisé « Muséo ». Le seul désavantage serait que le contact physique avec l'œuvre d'art est nettement réduit.[92]

Ensuite, nous continuerons avec l'exemple d'un logiciel éducatif sur tablette tactile pour les enfants en âge préscolaire. Ce didacticiel (« Les aventures de Lili et Théo ») a été construit en 2007 par une équipe de recherche de Genève. Son but était d'assister les enfants sourds (avec un implant cochléaire) dans l'apprentissage du français. Plus précisément, ils ont essayé de transférer un logiciel existant déjà sur l'ordinateur sur un support tactile. Leur question était de savoir quels sont les bénéfices d'un tel support. De plus, ils cherchaient à savoir comment on pourrait modifier le contenu afin d'assurer la diffusion du logiciel sur d'autres supports. Par ailleurs, ce logiciel contenait « des exercices sous forme de quizz imagés dans lesquels Lili et Théo sont mis en scène dans différents contextes ».[93] Les résultats ont relevé que les enfants ont été motivés et

92 http://ja.games.free.fr/ludoscience/EVirtuoses/AppelAComEVirtuo2012/Articles/23_ImpactSG.pdf.

93 http://tecfa.unige.ch/tecfa/maltt/memoire/Travnjak2014.pdf

enthousiastes à utiliser le logiciel et la tablette tactile. De plus, les chercheurs ont observé que les utilisateurs apprenaient très vite à utiliser le logiciel de manière autonome. Leur conclusion était que ce logiciel peut être utilisé sur toutes les plateformes visées.

Nous allons continuer notre liste avec plusieurs exemples. Précisément, nous donnons aussi l'exemple du logiciel Pictokids[94] qui a été créé par une équipe de chercheurs de Paris. Zbakh, Fontana, Ahnache, Mortera et Krahe (2010) ont développé un logiciel de communication pictographique avec sortie textuelle ou vocale dédié aux personnes qui ont des difficultés de communication. Ce didacticiel contient « plus 1400 pictogrammes qui permettent la rédaction de phrases pictographiques au travers de trois modes au choix. La phrase pictographique est, par la suite, traduite en texte en respectant des règles de grammaire et conjugaison française, et propose une lecture par une synthèse vocale » (Zbakh, Fontana, Ahnache, Mortera et Krahe, 2010, p. 155).

La même équipe des chercheurs de Paris a conçu un autre logiciel – une tête parlante Greta[95] - dédié aux sourds et aux malentendants. « Cette tête parlante Greta est capable, à partir d'une chaîne phonétique, de générer un signal audio synthétique et les mouvements correspondants des lèvres » (Zbakh, Daassi-Gnaba et Krahe, 2010, p. 16). Leur but était d'intégrer « la modalité du Langage Parlé Complété (LPC) dans une tête parlante 3D audiovisuelle, nommée Greta ». Les résultats obtenus étaient encourageants.

Il y a aussi d'autres exemples de logiciels éducatifs comme Pictop (Terrat et Sagot, 2011), Réaction (Monod-Ansaldi et *al*., 2011b), TRI (Jean-Daubias, 2011b), Tables au trésor (Jean-Daubias, 2011a), etc.

En effet, notre étude ainsi que d'autres études présentées plus haut, ont pointé les mêmes étapes dans la création et la validation d'un dispositif numérique. Enfin, cette recherche a permis de valider notre logiciel éducatif *Digisthésia.* En conclusion, nous pouvons valider nos trois sous-hypothèses et par conséquence, nous pouvons valider notre troisième hypothèse comme quoi il y a une corrélation entre les subtests de la WNV et les 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia*.

94 Zbakh, M., Fontana, I. L., Ahnache, K., Mortera, A. et Krahe, J. L. (2010). Pictokids: un logiciel de communication pictographique avec sortie textuelle ou vocale. In *Conférence-HANDICAP 2010* (p. 155-160).

95 Zbakh, M., Daassi-Gnaba, H. et Krahe, J. L. (2010, Juin). Tête parlante codeuse en LPC pour les sourds et les malentendants. In *Conférence-HANDICAP 2010* (p. 16-21).

IV. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ?

Nous avons aussi mené une quatrième étude en nous intéressant s'il existe une corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour et si le temps de réaction changerait en fonction du niveau de difficulté au jeu d'une façon incrémentale.

Les résultats ont indiqué que le temps de réaction était négativement corrélé avec le niveau de jeu dans le cas des 3 jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* : « Chasse au trésor », « Piège de la cascade » et « Débarquement ». Précisément, ces résultats montrent que les temps de réflexion diminuent avec la montée en niveau de difficulté. La montée en niveau se fait avec une sédimentation de l'expérience accumulée aux niveaux précédents et permet aux participants d'avoir une meilleure performance cognitive transversale aux différentes capacités cognitives entraînées par les jeux.

Afin d'apporter de plus amples informations sur la façon dont la montée en expérience peut être caractérisée ou quantifiée, nous nous sommes aussi intéressés s'il existe un lien entre le score final d'une partie et le niveau atteint à la fin de la partie respective. Les résultats des analyses corrélationnelles ont montré que le score final pour les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* est significativement et positivement corrélé avec le niveau maximum atteint pendant la partie respective. Autrement dit, plus les participants obtiennent un score élevé aux jeux, plus ils atteignent des niveaux de difficulté plus élevés.

Par ailleurs, nos résultats sont consistants avec plusieurs recherches (Hocine, Gouaïch, Di Loreto et Abrouk, 2011) qui portent sur les techniques d'adaptation utilisées dans les jeux sérieux. L'objectif de ces méthodes était de transmettre des mesures concrètes afin de trouver l'efficacité et l'efficience du jeu éducatif. En même temps, elles supposaient de donner un état de satisfaction à l'utilisateur. De plus, il a été démontré que les jeux sérieux sont aussi adaptés en fonction du niveau de difficulté (débutant, intermédiaire, expert). La difficulté pour chaque niveau du jeu change et augmente avec le temps. Aussi, l'acquisition des compétences pour chaque personne évolue avec le temps. La méthode s'appelle « dynamic difficulty adjustment » (ajustement dynamique de la difficulté) et plusieurs travaux (Andrade G. et *al*., 2006; Hunicke R. et *al*, 2004; Spronck P. et *al*., 2004; Yun C. et *al.*, 2010) se sont concentrés sur ce sujet.

Précisément, dans leur article, Hocine, Gouaïch, Di Loreto et Abrouk (2011)[96], ont réalisé un état de l'art sur ces méthodes. Parmi les méthode cités, nous pouvons donner l'exemple de la technique « Real-time Adaptation of Augmented-Reality Games » (adaptation en temps réel pour les jeux de réalité augméntée) (Georgios N. et *al.*, 2008). Pour évaluer cette technique, Georgios N. et *al*. (2008) ont testé le jeu gratuit *Bug-Smasher.* Dans cette démarche, l'objectif était de décrire quelles sont les interactions produites par l'utilisateur en temps réel dans le jeu vidéo. Leur méthode d'adaptation était fondée sur « la construction des modèles de joueurs afin d'exploiter leurs expériences dans le jeu et sur l'utilisation d'une fonction de calcul de paramètres de jeu » (Gouaïch, Di Loreto et Abrouk, 2011, p. 17). Précisément, la difficulté d'un jeu est calculée par un algorithme de réseaux de neurones.

Pour résumer, nous avons remarqué que la technique la plus utilisée dans l'adaptation des jeux sérieux serait l'appropriation/l'ajustement des niveaux de jeu en fonction des performances de l'utilisateur. Précisément, les performances d'un joueur sont calculées en fonctions de plusieurs paramètres comme, par exemple, le temps de réaction, la vitesse ou encore les scores moyens et maximums obtenus lors des différentes parties, tours et essais.

En conclusion, nous pouvons affirmer qu'il existe des corrélations significativement positives entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté des tours respectifs, atteints pendant les parties des jeux du logiciel *Digisthésia*. Ces résultats confirment notre dernière hypothèse.

96 Hocine, N., Gouaïch, A., Di Loreto, I. et Abrouk, L. (2011). Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information-Série RIA: Revue d'Intelligence Artificielle, 25*(2), 253-280.

Conclusions

Dans cette recherche, nous avons tenté de montrer le potentiel de l'application des nouvelles technologies dans le processus d'apprentissage. Afin de tester l'influence des tablettes numériques, nous avons créé un logiciel éducatif et nous l'avons testé sur 2 groupes (sourds et malentendants versus bien-entendants). Comme évoqué auparavant, notre didacticiel *Digisthésia* cherchait à améliorer 4 paramètres importants comme l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution de problèmes. De plus, nous avons essayé d'adapter ce logiciel aux besoins des personnes sourdes et malentendantes. En conséquence, notre objectif était de savoir et d'identifier en quoi ce logiciel est adapté aux particularités des personnes sourdes et malentendantes ?

En résumé, les études de cette thèse nous ont amenés à confirmer partiellement toutes nos hypothèses. Plus précisément, nous pouvons valider les hypothèses 1, 3 et 5 et partiellement les hypothèses 2 et 4.

Nos principaux résultats montrent une amélioration significative de ces 3 paramètres mentionnés plus haut : attention, mémoire et vitesse de traitement pour les 2 groupes de participants. A cause du nombre insuffisant de participants, nous n'avons pas pu conclure si notre didacticiel a un effet positif sur la capacité de résolution des problèmes des élèves. De plus, nous avons remarqué une amélioration plus importante pour le groupe des participants sourds et malentendants. Ce constat d'ensemble montre que le logiciel *Digisthésia* est plutôt adapté aux caractéristiques des utilisateurs sourds et malentendants, précisément l'intérêt principal de ce travail.

Difficultés rencontrées

Sur la globalité de mon travail, j'ai rencontré plusieurs problématiques qui ont été soit chronophages soit ont impliqué un retravail de certaines parties du document.

Un des principaux motifs de retravail a été l'intégration au fur et à mesure des publications de nouvelles recherches et résultats sur des sujets similaires au mien. Ma thèse présente un sujet d'actualité car les tablettes tactiles sont très récentes (iPad sorti en janvier 2010) et les recherches sur ces nouvelles technologies sont en plein développement. En conséquence, en ce qui concerne la partie théorique, j'ai eu une bonne et mauvaise surprise. Bonne surprise car il existe beaucoup de recherches et des résultats qui ont été publiés ces derniers temps sur les nouvelles technologies et les tablettes numériques. Mauvaise surprise car ces nouveaux éléments m'ont forcé à revoir certains de mes propos et idées. J'ai dû du coup mettre à jour le travail que j'avais déjà fait plusieurs fois pour prendre en compte les nouvelles découvertes.

En parallèle, il me semble important de préciser que durant les 2 dernières années, j'ai occupé le poste d'ATER à l'ESPE de Grenoble et puis à l'Université de Lyon 2. La charge et la fatigue du travail comme ATER de ces 2 dernières années m'ont énormément ralenti.

D'autre part, comme nous avons expliqué dans la partie « Méthodologie », les démarches administratives afin d'avoir accès à la population d'élèves sourds et malentendants ont été très longues et ont introduit des « temps morts » où je n'avais aucune piste d'avancement.

Limites de la recherche

Par la suite, nous allons présenter et discuter plusieurs limites du travail actuel sur lesquelles nous allons nous appuyer pour avancer des perspectives d'évolution et d'ouverture vers d'autres sujets de recherche et d'application.

Nous avons pu explorer et alimenter nos données par le biais de données quantitatives. En même temps, nous avons fait des observations personnelles sur le comportement des élèves qui ont utilisé notre logiciel éducatif *Digisthésia*. Afin de compléter ce travail, il pourrait être intéressant de mener une recherche pour recueillir des données avec un caractère plus qualitatif. Par exemple, des entretiens semi-directifs après la période de post-test avec les parents et avec les enseignants pourraient permettre d'explorer et d'analyser l'influence de notre logiciel après la fin de l'expérimentation, à l'école et aussi à la maison.

Parmi les limites de cette étude, nous pouvons citer l'effectif relativement restreint de l'échantillon considéré. De plus, il nous semble important de préciser que le temps d'utilisation de la tablette numérique n'était pas limité, chaque participant l'avait utilisé à volonté. Par ailleurs, avant de commencer l'analyse des résultats, nous avons filtré et sélectionné les participants. Comme nous l'avons expliqué dans la Partie « Résultats », la logique du filtrage repose sur le fait qu'en-dessous de 3 parties les performances des sujets ne sont pas forcément représentatives par rapport à leur vraie compétence. Le but de notre recherche est de nous axer sur le volontariat des sujets afin de maximiser le rendement des améliorations cognitives via les séances de jeu. Nous avons écarté les sujets qui n'ont pas beaucoup joué et qui ne s'encadraient pas dans les normes quantitatives fixées. Par conséquent, pour certaines études nous nous sommes retrouvés avec un panel assez réduit.

Perspectives du projet

Cette thèse était à la base motivée par le désir d'amener des outils et méthodes concrètes pour une application pratique. Nous nous sommes concentrés sur la création d'un outil adapté aux besoins et aux particularités des personnes sourdes et malentendantes. Cependant la méthode que l'outil implémente est tout à fait applicable à d'autres populations et d'autres types d'outillages.

Nous avons donc décidé de créer une startup sur la base de l'outil *Digisthésia*. L'objectif principal de cette entreprise serait la création d'une plateforme de mesure et entraînement des capacités cognitives des utilisateurs.

En fait il est très pertinent de reprendre la même démarche mais cette fois-ci avec des données recueillies chez des adultes et des personnes âgées. Nous pourrions ainsi ajouter d'autres variables liées aux performances de l'utilisateur via un suivi journalier, ce qui nous permettrait de détecter les chutes ou pics de performance. Nous pourrions ensuite corréler ces extremums de performance avec des facteurs émotionnels (ex. moral, bien-être psychique) ou bien-être physique (ex. nutrition, activité sportive, repos) de l'utilisateur. On obtiendrait ainsi au final une double valeur ajoutée :

- un système de veille sur le bien-être global de l'utilisateur : partant des performances cognitives on pourrait tirer des signaux d'alarme sur des aspects émotionnels, physiques ou même médicaux ;
- une série de bonnes pratiques concernant l'hygiène de vie et l'état émotionnel qui pourraient créer un cadre plus propice au développement cognitif.

L'objectif secondaire de l'entreprise *Digisthésia* est la digitalisation des sciences humaines. Nous sommes convaincus que dans le contexte de la « Génération Z »[97] (couverture Internet, usage généralisé des smart phones et tablettes, etc.), le principal vecteur de développement des sciences humaines serait l'interaction multicanal.

E-humanités, soyez les bienvenues !

97 https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9n%C3%A9ration_Z

Références bibliographiques

Albaret, J. M. et Aubert, E. (1996). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 206-209.

Alix, B. (2007). Surdité et lien vocal. *Champ psychosomatique, 4*(48), 157-178. DOI : 10.3917/cpsy.048.0157

Allen, T. E. (1994). *Who are the deaf and hard-of-hearing students leaving high school and entering postsecondary education*. Paper submitted to Pelavin Research Institute as part of the project, A Comprehensive Evaluation of the Postsecondary Educational Opportunities for Students who are Deaf or Hard of Hearing, funded by the US Office of Special Education and Rehabilitative Services. Gallaudet University.

Amadieu, F. et Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique: mythes et réalités*. Paris : Retz.

Anderson, J. R. (1990). *Cognitive psychology and its implications*. WH Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.

Anderson, J. R., Boyle, C. F., Corbett, A. T. et Lewis, M. W. (1990). Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial intelligence*, *42*(1), 7-49.

Andrade G., Ramalho G., Gomes A.S. et Corruble V. (2006). Dynamic Game Balancing: an Evaluation of User Satisfaction. Dans *Proceedings of the 2nd Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE06), 6,* 3-8. AAAI Press.

Andrieu-Guitrancourt, J. (1991). Surdités. Dans Ployer M.-J., Andrieu-Guitrancourt J., Desnos J. (dir), *ORL pédiatrique*. Paris : Doin.

Arnab, S. (dir.). (2012). *Serious Games for Healthcare: Applications and Implications: Applications and Implications*. IGI Global.

Azevedo, R., Johnson, A., Chauncey, A. et Burkett, C. (2010). Selfregulated learning with MetaTutor: Advancing the science of learning with MetaCognitive tools. Dans M. Khine et I. Saleh (dir.), *New science of learning: Computers, cognition, and collaboration in education* (p. 225–247). Amsterdam, The Netherlands: Springer.

Babcock, R. L. (1994). Analysis of adult age difference on Raven's Advanced Progressive Matrices test. *Psychology and Aging*, *9*, 303-314.

Babnik, P., Dorfnger, J., Meschede, K., Waba, S., Widmer, M. et Mulley, U. (2013). Tenhnologieeinsatz in der schule. Dans M. Ebner et S. Schön (dir.), *Lehrbuch für lernen und lehren mit technologien (2e éd.).* Recupéré du site : http://l3t.tugraz.at/index.php/LehrbuchEbner10/article/view/47

Bach, J. F., Houdé, O., Léna, P. et Tisseron, S. (2013). *L'enfant et les écrans : un avis scientifique de l'Académie des Sciences.* Paris, France : Le Pommier. Récupéré du site: http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/avis0113.pdf

Bachelard, G. (1993). *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris, France : Vrin.

Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford : Clarendon Press.

Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L. et Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: Expanding the useful field of view. *Optics, Image Science, and Vision, 5*(12), 2210–2219.

Balacheff, N. (2002). Contribution à la réflexion sur la recherche sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Dans G. L. Baron et E. Bruillard (dir.), *Les technologies en éducation : perspectives de recherche et questions vives* (p. 193-201). France, Paris : INRP- MSH-IUFM de Basse Normandie.

Bailleul, M., Bataille, P., Lanoe, C. et Mazereau, P. (2009). *École et handicap: de la coexistence à la reconnaissance*. Paris: Sudel.

Barisnikov, K. et Pizzo, R. (2007). L'examen des compétences visuo-spatiales. Dans M. P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 139-170). Belgique, Bruxelles : Mardaga.

Barlow, J. P. (1996). A Declaration of the Independence of Cyberspace. Dans J. Casimir (dir.), *Postcards from the Net: An Intrepid Guide to the Wired World* (p. 365-367). Sydney : Allen and Unwin.

Baron, M., Guin, D. et Trouche, L. (2007). *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage: conception et usages, regards croisés.* Paris, France : Hermès.

Barth, B. M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction, méthode pour une meilleure réussite de l'école*. Paris, France : Retz.

Bashinski, H. S. et Bacharach, V. R. (1980). Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations. *Attention, Perception et Psychophysics*, *28*(3), 241-248.

Bastien, C. et Bastien-Toniazzo, M. (2004). *Apprendre à l'école*. France, Paris : Armand Colin.

Bastin, L. et Deroux, C. (2007). Évaluation des capacités attentionnelles chez l'enfant. Dans M. P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 97-115). Belgique, Bruxelles : Mardaga.

Baudouin, C., Beney, M., Chevaillier, P. et Le Pallec, A. (2008). Recueil de traces pour le suivi de l'activité d'apprenants en travaux pratiques dans un environnement de réalité virtuelle. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF), 14*, 1-16. Récupéré sur le site : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2007/07-baudouin/sticef_2008_baudouin_07.htm

Bavelier et *al.* (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. *Journal of Neuroscience*, *20*(17), 1-6. Récupéré sur le site : https://pdfs.semanticscholar.org/e65e/e2b255d1d936a34b072212cef48efd07d25f.pdf

Bazin, A., Doly, A. M. et Girerd, R. (1997). *La métacognition une aide au travail des élèves*. Paris, France: ESF éditeur.

Bécu-Robinault, K. (1997*). Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques* (thèse de doctorat). Université Claude Bernard, Lyon 1, France.

Bellugi, U., O'Grady, L., Lillo-Martin, D., Hynes, M. G., Van Hoek, K. et Corina, D. (1990). Enhancement of spatial cognition in deaf children. Dans V. Volterra et C. Erting (dir.), *From gesture to language in hearing and deaf children* (p. 278–298). New York: Springer-Verlag.

Beney, M. et Guinard, J.-Y. (2004). L'évaluation de l'efficacité du guidage dans les Travaux Pratiques de Deug : Un problème méthodologique complexe. *Didaskalia, 24*, 29-64.

Bennett, S., Maton, K. et Kervin, L. (2008) The « digital natives » debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology, 39* (5), 775–786.

Bertalanffy, L. V. (1973). *Théorie générale des systèmes*. Paris : Dunod.

Best, B. et Roberts, G. (1976). Early cognitive developement in hearing impaired children. *American Annals of the Deaf, 121*, 560-564.

Bétrancourt, M. et Bozelle, C. (2012). Les MITIC au service de la pédagogie spécialisée. *Mieux connaître leur spécificité pour développer des usages éducatifs pertinents. Rev. Suisse Pédagogie Spéc*, 15-23.

Biggs, J. B. (1985). The role of metalearning in study processes. *British journal of educational psychology*, *55*(3), 185-212.

Blair, F. X. (1957). A study of the visual memory of deaf and hearing children. *American Annals of the Deaf, 102*, 254-263.

Blamey, P. J. et *al*. (2001). Relationships among speech perception, production, language, hearing loss, and age in children with impaired hearing. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *44*(2), 264-285.

Boissière, J., Fau, S. et Pedró, F. (2013). *Le numérique: une chance pour l'école*. Paris, France : Armand Colin.

Bornstein, M. H., Selmi, A. M., Haynes et *al*. (1999). Representational abilities and the hearing status of child/mother dyads. *Child Development*, *70*(4), 833-852.

Bosworth, R. G. et Dobkins, K. R. (2002). The effects of spatial attention on motion processing in deaf signers, hearing signers, and hearing nonsigners. *Brain and cognition*, *49*(1), 152-169.

Bosworth, R. G. et Dobkins, K. R. (2002). Visual field asymmetries for motion processing in deaf and hearing signers. *Brain and cognition*, *49*(1), 170-181.

Boucheix, J. M. et Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and instruction*, *19*(2), 112-127.

Bouffard-Bouchard, T. et Gagné-Dupuis, N. (1994). Pratiques parentales et développement métacognitif chez l'enfant d'âge préscolaire. *Enfance*, *47*(1), 33-50.

Braden, J. P. et Hannah, J. M. (1998). Assessment of hearing impaired and deaf children with the WISC-III. *Use of the WISC-III in clinical practice*, 175-201.

Brill, R. G. et Orman, J. N. (1953). An experiment in the training of deaf children in memory for sentences. *American annals of the deaf*, *98*(2), 270-279.

Broisin, J. et Vidal, P. (2007). Une approche conduite par les modèles pour le traçage des activités des utilisateurs dans des EIAH hétérogènes. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF), 14*, 1-18.

Brousseau, G. et Balacheff, N. (1998). *Théorie des situations didactiques: Didactique des mathématiques 1970-1990*. Grenoble, France : La pensée sauvage.

Brown, A. L. (1978). Knowing when, where and how to remember : a problem of metacognition. Dans R., Glaser, (dir.), *Advances in Instructional Psychology*. *Vol. 1*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Bruner, J. S. (1983). Le rôle de l'interaction de tutelle dans la résolution de problème. Dans J. S Bruner, *Le développement de l'enfant: Savoir faire savoir dire* (261-280). Paris : PUF.

Bruner, J. (1996). *L'éducation, entrée dans la culture : les problèmes de l'école à la lumière de la psychologie culturelle*. Paris: Retz.

Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris : Hermès-Lavoisier.

Bryan, J. et Luszcz, M. A. (1996). Speed of information processing as a mediator between age and free-recall performance. *Psychology and aging*, *11*(1), 3-9.

Burgess, W., Shaw, C., Larew, S., Oellette, S. E. et Long, N. (2000). *A health education curriculum for traditionally underserved persons who are deaf*. DeKalb, IL: Northern Illinois University.

Campigotto, R., McEwen, R. et Epp, C. D. (2013). Especially social: Exploring the use of an iOS application in special needs classrooms. *Computers & Education*, *60*(1), 74-86.

Canivez, G. L. et Watkins, M. W. (1998). Long-term stability of the Wechsler Intelligence Scale for Children—Third Edition. *Psychological Assessment*, *10*(3), 285-291.

Canivez, G. L. et Watkins, M. W. (2001). Long-term stability of the Wechsler Intelligence Scale for Children-among students with disabilities. *School Psychology Review*, *30*(3), 438-453. Récupéré du site : http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45355646/Canivez_20__20Watkins_202001.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1487178482&Signature=Yu6vSgp54J5XKo%2F7mNCNl7VZ0Qg%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DLong-term_stability_of_the_Wechsler_Inte.pdf

Caouette, C. (1973). Etude longitudinale du développement mental d'enfants sourds. *Bulletin de Psychologie*. *XXVI*, 262-275.

Carroll, J. B. (1993). *Human Cognitive Abilities : A Survey Of Factor Analytic Studies*. New York : Cambridge Université Press.

Casby, M. W. et McCormack, S. M. (1985). Symbolic play and early communication development in hearing-impaired children. *Journal of Communication Disorders*, *18*(1), 67-78.

Catale, C., Closset, A. et Majerus, S. (2007). Évaluation de la mémoire chez l'enfant. Dans M. P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 49-95). Belgique, Bruxelles : Mardaga.

Cauzinille-Marmèche, E. (1990). Apprendre à utiliser ses connaissances pour la résolution de problèmes: analogie et transfert. *Bulletin de psychologie*, *44*, 156-64.

Censabella, S. (2007). Les fonctions exécutives. Dans M. P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 117-137). Belgique, Bruxelles : Mardaga.

Centre de recherche et d'information des organisation de consommateurs (2008, juin). *Les jeunes et Internet*. Bruxelles, CRIOC.

Chamberlain, C. et Mayberry, R. I. (2000). Theorizing about the relation between American Sign Language and reading. *Language acquisition by eye*, 221-259.

Chiasson, S. et Gutwin, C. (2005). *Design Principles for Children's Technology, Technical*. Report, HCI-TR-2005-02, Department of Computer Science, University of Saskatchewan.

Choquet, C. et Iksal, S. (2007). Modélisation et construction de traces d'utilisation d'une activité d'apprentissage: une approche langage pour la réingénierie d'un EIAH. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF), 14*, 1-24.

Churchill, D., Fox, B. et King, M. (2012). Study of afordances of iPads and teachers' private theories. *International Journal of Information and Education Technology, 2*(3), 251-254. Repéré à http://www.ijiet.org/papers/122-K10017.pdf

Clancey, W. J. (1997). *Situated cognition: On human knowledge and computer representations*. Cambridge University Press.

Clarke, B. R. et Rogers, W. T. (1981). Correlates of syntactic abilities in hearing-impaired students. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *24*(1), 48-54.

Colley, A. (2003). Gender differences in adolescents' perceptions of the best and worst aspects of computing at school. *Computers in Humain Behavior*, *19*, 673-678. Récupéré du site : http://dx.doi.org/10.1016/S0747-5632(03)00022-0

Comber, C., Colley, A., Hargreaves, D. J. et Dorn, L. (1997). The effets of age gender and computer experience upon computer attitudes. *Educational Research*, *39*(2), 123-134.

Connolly, K. et Jones, B. (1970). A developmental study of afferent-reafferent integration. *Br. J. Psychol, 61*, 259-266.

Conrad, R. (1979). *The Deaf School Child: Language and Cognitive Function*. London : Harper and Row.

Courtin, C. (2000). The impact of sign language on the cognitive development of deaf children : The case of theories of mind. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 5,* 266-276.

Courtin, C. et Melot, A. M. (2006). Le développement sociocognitif de l'enfant sourd : le cas des théories de l'esprit. Dans C. Hage, B. Charlier et J. Leybaert (dir.), *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd* (p. 165-184). Sprimont : Mardaga.

Cram, D., Jouvin, D. et Mille, A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité: application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque. *Revue Sticef. org, 21*(07), 1-22.

Cronin-Golomb, A. et Braun, A. E. (1997). Visuospatial dysfunction and problem solving in Parkinson's disease. *Neuropsychology, 11*, 44-52.

Cullen, J. L. (1985). Children's ability to cope with failure : Implications of metacognitif approach for classroom. Dans D.L. Forrest-Pressley, G.E. MacKinnon et T.G. Waller (dir.), *Metacognition, Cognition and Humain Performance* (p. 267-300). Orlando, FL: Academic Press.

Dale, E. (1969) *Audiovisual methods in teaching* (third edition). New York: The Dryden Press; Holt, Rinehart and Winston.

Danner, F. W. et Day, M. C. (1977). Eliciting Formal Operations. *Child Development, 48*(4), 1600-1606.

Davis J. M., Elfenbein, J. L., Chum, R. S. et Bentler, R. (1986). Effects of mild and moderate hearing impairments on language, educational, and psychosocial behavior of children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *51*, 53-62.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P. et Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Management science*, *35*(8), 982-1003.

Darbyshire, J. O. (1977). Play Patterns in Young Children with Impaired Hearing. *Volta Review*, *79*(1), 19-26.

Deschamps, J. P., Manciaux, M., Salbreux, R., Vetter, J. et Zucman, E. (1981). *L'enfant handicapé et l'école*. Paris : Flammarion.

Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G. et Ryan, R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational psychologist*, *26*(3-4), 325-346.

Dehaene, S. (2007). *Neurones de la lecture (Les): La nouvelle science de la lecture et de son apprentissage*. Paris : Odile Jacob.

Dehaene, S. (2013). *Smart games : le potentiel cognitif des jeux sur ordinateur*. Conférence-débat, Académie des sciences, Institut de France. Paris, le 22 janvier. Récupére du site : http://www.academie-sciences.fr/archivage_site/video/v220113.htm

Delaporte, Y. (2000). Etre sourd dans un monde entendant: destin, rencontre, transmission et rupture. *Ethnologie française*, 389-400.

Deleau, M. (1993). La réparation. *Informations sociales*, *25*, 66-74.

Deleau, M. (1998). Entre l'acte et la pensée, de l'activité conjointe aux symboles et aux croyances. *Enfance, 51*(1), 37-47. DOI : 10.3406/enfan.1998.3092

Deleau, M. et Weil-Barais, A. (1994). *Le développement de l'enfant : approches comparatives*. Paris : PUF.

De Schutter, B. (2011). *The Meaning of Digital Games to an Older Audience/De betekenis van digitale spellen voor een ouder publiek* (thèse de doctorat). Université Leuven, Belgique.

De Villiers, J., De Villiers, P. et Hoban, E. (1994). The central problem of functional categories in the English syntax of oral deaf children. *Constraints on language acquisition: Studies of atypical children*, 9-47.

Dillon, A. et Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Review of educational research*, *68*(3), 322-349.

Donnat, O. (2010). Les pratiques culturelles à l'ère numérique. *Bulletin des bibliothèques de France (BBF)*, *5*, 6-12. Récupéré du site de la revue : http://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2010-05-0006-001

Doise, W. et Mugny, G. (1997). *Psychologie sociale et développement cognitif*. Paris : Armand Colin.

Douet B. (1990). Réflexions sur le développement intellectuel des enfants sourds sévères et profonds. *Revue de neuropsychiatrie de l'enfance, 38* (3), 151-159.

Dündar, H. et Akçayır, M. (2014). Implementing tablet PCs in schools : Students' attitudes and opinions. *Computers in Human Behavior*, *32*, 40-46.

Duquesne-Belfais, F. (2007). *Activité et langages dans la conceptualisation mathématique. Des apprentissages des élèves sourds à la formation de leurs enseignants* (thèse de doctorat, Université de Lille 1). Récupéré du site de la bibliothèque de l'Université : https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/ea2063d9-6cd3-4c24-9381-fb76f357df75

Duthoit, E., Metz, S. M. V. et Pélissier, C. (2012). Processus d'aide en contexte d'apprentissage. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, *19*(12), 1-12.

Dye, M. W. G., Hauser, P. C. et Bavelier, D. (2008b). Visual attention in deaf children and adults: implications for learning environments. Dans M. Marschark et P. C. Hauser (dir.), *Deaf Cognition: Foundations and Outcomes* (p. 250–263). New York : Oxford University Press.

Dye, M. W. G., Hauser, P. C. et Bavelier, D. (2009). Is visual selective attention in deaf individuals enhanced or deficient? The case of the useful field of view. *PloS one*, *4*(5), e5640. Récupéré sur le site : 10.1371/journal.pone.0005640

Dye M. W. G., Green C. S. et Bavelier D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Curr. Dir. Psychol. Sci., 18*, 321–326.

Edmunds, R., Thorpe, M. et Conole, G. (2012). Student attitudes towards and use of ICT in course study, work and social activity: A technology acceptance model approach. *British journal of educational technology*, *43*(1), 71-84.

EHIMA (2015). Market surveys Eurotrak. Récupéré du site : http://www.ehima.com/documents

Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H. et Derman, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.

Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*. Helsinki: Orienta-Konsultit.

Ericsson, K. A. et Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological review*, *102*(2), 211-245.

Fernández-López, Á., Rodríguez-Fórtiz, M. J., Rodríguez-Almendros, M. L. et Martínez-Segura, M. J. (2013). Mobile learning technology based on iOS devices to support students with special education needs. *Computers & Education, 61*(0), 77-90. DOI: 10.1016/j.compedu.2012.09.014

Ferrer, F., Belvís, E. et Pàmies, J. (2011). Tablet PCs, academic results and educational inequalities. *Computers et Education*, *56*(1), 280-288.

Feyereisen, P., Hupet, M., Berrewaerts, J., Charlot, V., Demanet, L., Doose, G., et Schelstraete, M. A. (2002). *Parler et communiquer chez la personne âgée : psychologie du vieillissement cognitif*. Paris : PUF.

Flanagan, D. F., McGrew, K .S. et Ortiz, S.O. (1999). *The Wechsler intelligence scales and Gc-Gf theory.* Boston, MA. : Allyn et Bacon.

Flavell, J. H. (1985). Développement métacognitif. Dans J. Bideaux et M. Richelle (dir.), *Psychologie développementale, problèmes et réalités* (p. 29-42). Bruxelles : Mardaga.

Fri-Tic. (2012). Projet One to One iPad : visite de l'Institut international de Lancy. Repéré du site : http://www.fri-tic.ch/dyn/bin/45214-46185-1-fritic_visite_onetoone_lancy_v2.pdf

Furth, H. G. (1966). *Thinking without language: psychological implications of deafness*. New York Press.

Galotti, K. M., Komatsu, L. K. et Voelz, S. (1997). Children's differential performance on deductive and inductive syllogisms. *Developmental Psychology*, *33*(1), 70-78. Récupéré du site : https://pdfs.semanticscholar.org/63ed/656acfaa4e429f96afdb316ffef1d42e58e3.pdf

Gapenne, O. (2006). Relation d'aide et transformation cognitive. *Intellectica*, *44*, 7-16.

Garbay, C. et Kayser, D. (2011). *Informatique et sciences cognitives: Influences ou confluence?.* Paris : Editions Ophrys, Edition de la Maison des sciences de l'homme.

Garner, H. (1993). *Multiples intelligences: the theory into practice*. New York : Basics Book.

Gathercole, S. E. et Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, *70*(2), 177-194.

Geers, A. E. et Moog, J. S. (1978). Syntactic maturity of spontaneous speech and elicited imitations of hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *43*(3), 380-391.

Geers, A. E. et Moog, J. S. (1994). The effectiveness of cochlear implants and tactile aids for deaf education: A report of the CID Sensory Aids Study. *Volta Review Monograph*. *96*(5), 1-11.

Geist, E. (2011). The game changer: Using iPads in college teacher education classes. *College Student Journal, 45*(4), 758-768.

Georgios, N., Yannakakis, G. et Hallam, J. (2008). Real-time adaptation of augmented-reality games for optimizing player satisfaction. *Proceedings of CIG*, *8*, 103-110.

Gibson C. J. (1988). The impact of early developmental history on cerebral assymetries: implications for reading ability in deaf children. Dans D. L. Molfese, S. Segalowitz (dir.), *Brain lateralization in children: developmental implications* (p. 591-604). New York: The Guilford Press.

Gillot, D. (1998) : *Le droit des sourds : 115 propositions*, *rapport remis par Dominique Gillot, députée du Val d'Oise, à Lionel Jospin, en juin 1998.* Récupéré du site: http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/984001595/index.shtml

Girard, C., Ecalle, J. et Magnan, A. (2013). Serious games as a new educational tools : How effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning, 29*, 207-219.

Gordon, J. (1996). Tracks for Learning: Metacognition and Learning Technologies. *Australian Journal of Educational Technology*, *12*(1), 46-55.

Grammenos, D., Paramythis, A. et Stephanidis, C. (2000). *Designing the User Interface of an Interactive Software Environment for Children*. Institute of Computer Science, Foundation for Research and Technology – Hellas Science and Technology Park of Crete, Heraklion, Crete.

Grandbastien, M. et Labat, J. M. (2006). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Paris : Hermès Lavoisier.

Grant, H. et Dweck, C. S. (2003). Clarifying achievement goals and their impact. *Journal of Personality and Social Psychology, 85*, 541-553.

Grégoire, J. (2007). L'examen de l'intelligence. Dans M. P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 17-48). Belgique, Bruxelles : Mardaga.

Gregory, S. (1986). The relationship between langage development and symbolic play in deaf children. Dans *Vivre sourd…aujourd'hui et demain*. *Vol I, Tome 3, Communication et surdité.* Bruxelles : Edirsa.

Gregory, S. et Mogford, K. (1981). *Early language development in deaf children. Perspectives on British sign language and deafness.* London: Croom Helm.

Gregory, S. et Mogford, K. (1983). The development of symbolic play in young deaf children. Dans D. R. Rogers et J. A. Sloboda (dir.), *The acquisition of symbolic skills* (p. 221-231). New York : Plenum Press.

Grigonis, A. et Narkevičienė, N. (2010). Deaf children's visual recall and its development in school age. *Vytauro Didziojo Universitetas K*, *52*.

Guidetti, M. et Tourette, C. (2008). *Introduction à la psychologie du développement. Du bébé à l'adolescent* (3ème édition). Paris : Armand Colin.

Guidetti, M. et Tourrette, C. (2014). *Handicaps et développement psychologique de l'enfant*. Paris : Armand Colin.

Haeusler, L., De Laval, T. et Millot, C. (2014). Etude quantitative sur le handicap auditif à partir de l'enquête Handicap-Santé. *DRESS, Etudes et recherches, 131*, 156 p. Récupéré du site : http://drees.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/dt131-etudes_et_recherches.pdf

Hage, C. (1994). *Développment de certains aspects de la morphosyntaxe chez l'enfant asurdité profunde: Rôle du LPC -The development of certain aspects of morphosyntax in the profoundly deaf child: The role of cued speech* (thèse de doctorat non-publiée). Université Libre de Bruxselles, Brussels, Belgium.

Hage, C., Charlier, B. et Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd: pistes d'évaluation*. Belgique : Editions Mardaga.

Hahn, J. et Bussell, H. (2012). Curricular use of the iPad 2 by a frst-year undergraduate learning community. *Library Technology Reports, 48*(8), 42-47. DOI : 10.5860/ltr.48n8

Halford, G. S. (1993). *Children's understanding: The development of mental models*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.

Hardy-Braz, S. T. (2004). Using the WISC-IV with deaf or hard of hearing students. Dans D. P. Flanagan et A. S. Kaufman (dir.), *Essentials of WISCIV Assessment* (p. 208-214). Hoboken, NJ : John Wiley and Sons.

Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace : la main et la perception tactile de l'espace*. Lille : Presses Universitaires de Lille.

Hatwell, Y. (1994). Transferts intermodaux et intégration intermodale. Dans M. Richelle, J. Requin et M. Robert (Dir.), *Traité de Psychologie Expérimentale* (p. 543-584). Paris : Presses Universitaires de France.

Heil, M. et Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: Do men utilize holistic processes whereas women prefer piecemeal ones? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61,* 683–689. DOI : 10.1080/17470210701822967

Heimler, B., van Zoest, W., Baruffaldi, F., Rinaldi, P., Caselli, M. C. et Pavani, F. (2015). Attentional orienting to social and nonsocial cues in early deaf adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(6), 1758-1771.

Henderson, S. et Yeow, J. (2012). iPad in education: A case study of iPad adoption and use in a primary school. Dans R. H. Sprague (dir.), *Proceedings of the 45th Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 78-87). New York, NY: IEEE. DOI : 10.1109/HICSS.2012.390

Héraud J. M., France, L. et Mille, A. (2004). Pixed: An ITS that guides students with the help of learners' interaction logs. *Intelligent Tutoring System.* Maceio, Brésil.

Héraud, J. M., Marty, J. C., France, L. et Carron, T. (2005). Helping the interpretation of web logs : Application to Learning Scenario Improvement. *Workshop Usage Analysis in Learning Systems, 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education.* Amsterdam, Pays-Bas.

Hérold, J. F. (2012). Analyse cognitive de l'activité de l'élève pour une personnalisation d'un environnement numérique d'apprentissage. *Revue STICEF*, *19*, 285-307.

Higelé, P. (1997). *Construire le raisonnement chez les enfants: analyse critique des exercices*. Paris : Retz.

Hocine, N., Gouaïch, A., Di Loreto, I. et Abrouk, L. (2011). Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information-Série RIA: Revue d'Intelligence Artificielle*, *25*(2), 253-280.

Hoeft, F., Watson, C. L., Kesler, S. R., Bettinger, K. E. et Reiss, A. L. (2008). Gender differences in the mesocorticolimbic system during computer game-play. *Journal of psychiatric research*, *42*(4), 253-258.

Höffler, T. N. et Leutner, D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations–Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in human behavior*, *27*(1), 209-216.

Holland, J., Hutchins, E. et Kirsh, D. (2000). Distributed cognition: toward a new foundation for human-computer interaction research. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, *7*(2), 174-196.

Holmes, J., Gathercole, S. E. et Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science, 12*(4), F9-F15.

Houdé, O. (1998). *Vocabulaire de sciences cognitives*. Paris : PUF.

Houdé, O. (2008). Apprentissage, Cerveau (Développement du Cerveau), Développement Cognitif, Raisonnement. Dans A. van Zanten (dir.). *Le dictionnaire de l'éducation* (p. 16-19, 48-50, 126-129, 557-560). Paris : PUF.

Houdé, O. et Leroux, G. (2009). *Psychologie du développement cognitif*. Paris, France : Presses universitaires de France.

Houdé, O. (2013). *Développement et éducation des enfants dans le monde des écra*ns. Conférence-débat, Académie des sciences, Institut de France. Paris, le 22 janvier. Récupéré du site : http://www.academie-sciences.fr/archivage_site/video/v220113.htm

Houriez S., Houriez J., Kounakou K. et Leleu-Merviel S. (2012, mai). Muséo. Dans Bogajewski, S., Jauffret-Cervetti, M.N., Heutte, J., Dante, M., Desombre, L. et al.. (dir.), *Actes de conférence internationale e-virtuoses. Actes de colloques des E-Virtuoses 2012 et 2013 sur le serious gaming,* 33-35. France, Valenciennes : CCI Grand Hainaut. Récupéré du site : https://hal-unice.archives-ouvertes.fr/hal-01174400/document

Houssaye, J. (dir.). (1993). *La pédagogie: une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF.

Houssaye, J. (2000). *Le triangle pédagogique*. Berne : Peter Lang.

Huber, S. (2012). *iPads in the Classroom : A Development of a Taxonomy for the Use of Tablets in Schools. Norderstedt*. Germany : Books on Demand GmbH. Récupéré du site : http://l3t.eu/itug/images/band2.pdf

Hunicke R. et Chapman V. (2004). AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Games, *Challenges in Game Artificial Intelligence AAAI Workshop* (p. 91-96). San Jose, CA: AAAI Press.

Hutchison, A., Beschorner, B. et Schmidt-Crawford, D. (2012). Exploring the use of the iPad for literacy learning. *The Reading Teacher, 66*(1), 15-23. DOI : 10.1002/TRTR.01090

Huteau, M. (1987). *Style cognitif et personnalité: la dépendance-indépendance à l'égard du champ* (Vol. 4). Presses Universitaire de Lille : Septentrion.

Hyde, M., Zevenbergen, R. et Power, D. J. (2003). Deaf and hard of hearing student's performance on arithmetic word problems. *American Annals of the Deaf*, *148*(1), 56-64.

Inhelder, B. et Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris : PUF.

Inhelder, B., Sinclair, H. et Bovet, M. (1974). *Apprentissage et structures de la connaissance*. Paris : PUF.

Ionescu, S. et Blanchet, A. (2007). *Nouveau cours de psychologie (Master). Psychologie du développement et de l'éducation.* Paris : Presses Universitaires de France.

Isaacs, E. B. et Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *British Journal of Developmental Psychology*, *7*(4), 377-380.

Isabwe, G. M. N. (2012). Investigating the usability of iPad mobile tablet in formative assessment of a mathematics course. Dans *2012 International Conference on Information Society* (p. 39-44). New York, NY : IEEE. Repéré à http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all. jsp?arnumber=6285043

Jamet, E. (2006). Comprendre et apprendre avec les documents multimédias. Dans A. Piolat (dir.), *Lire, écrire, communiquer et apprendre avec Interne*t (p. 509-528). Marseille: Solal.

Jamet, E. (2008). *La compréhension des documents multimédias: de la cognition à la conception*. Marseille : Solal.

Jean-Daubias, S. (2011). Ingénierie des profils d'apprenants. *Habilitation à diriger des recherches*, Université Claude Bernard Lyon 1, France.

Jean-Daubias, S. (2011). TRI, un logiciel de sensibilisation au tri sélectif et au recyclage s'appuyant sur des sessions personnalisables. *Atelier "Personnalisation de l'apprentissage: quelles approches pour quels besoins?", EIAH 2011*. Mons, Belgique. Récupéré du site : http://liris.cnrs.fr/~mlefevre/rech/EIAH2011AtelierPerso/Actes/EIAH2011_AtelierPersonnalisationApprentissage_Logiciel_TRI.pdf

Jean-Daubias, S. (2011). Tables au trésor, un logiciel d'entraînement aux tables mathématiques entièrement paramétrable. *Atelier "Personnalisation de l'apprentissage: quelles approches pour quels besoins?", EIAH 2011*. Mons, Belgique. Récupéré du site : http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/BSEP/articles/jean-daubias_2011.pdf

Jean-Daubias, S., Eyssautier-Bavay, C. et Lefevre, M. (2009). Modèles et outils pour rendre possible la réutilisation informatique de profils d'apprenants hétérogènes. *Revue Sciences et Technologies de l'Information de de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF), 16*, 1-20.

Jumel, B. (2008). *Guide clinique des tests chez l'enfant*. Paris : Dunod.

Jumel, B. et Savournin, F. (2013). *L'Aide-mémoire du Wisc-IV-2e éd.: 24 notions*. Paris : Dunod.

Karsenti, T. et Fievez, A. (2013). *L'iPad à l'école: usages, avantages et défis : résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada)*. Montréal, QC : CRIFPE.

Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une révolution*. Belgique : Edipro.

Katz, S., Lesgold, A., Eggan, G. et Gordin, M. (1992). Modelling the student in Sherlock II. *Artificial Intelligence in Education, 3*(4), 495-518.

Kaufman, A. S. et Lichtenberger, E. O. (2000). *Essentials of WISC-III and WPPSI-R assessment*. John Wiley et Sons Inc.

Keil, F. (1998). Cognitive science and the origins of thought and knowledge. Dans W. Damon et R. Lerner (dir.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (5th ed., p. 341–414). New York: Wiley.

Kepka L., Heraud, J. M., France, L., Marty, J. C. et Carron, T. (2007). Activity Visualization and Regulation in a Virtual Classroom. *The 10th IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education*, Beijing, Chine.

Kervasdoué, J. et Hartmann, L. (2016). *Impact économique du déficit auditif en France et dans les pays développés. Revue de la littérature scientifique 2005-2010*. Récupéré du site : http://www.unsaf.org/doc/Impact_Economique_Deficit_Auditif_en_France.pdf

Kesler, S. R. (2008). *Cognitive intervention and neuroplasticity in children with neurodevelopmentally based executive function deficits*. Presented at the International Neuropsychological Society Meeting.

Ketola, P. et Röykkee, M. (2001, April). The three facets of usability in mobile handsets. Dans *CHI 2001 Workshop: Mobile Communications: Understanding Users, Adoption & Design*, Seattle. Récupéré du site : https://pdfs.semanticscholar.org/447a/7ca02a0f56b223c9b6a3f91f826443a4f658.pdf

Kinash, S., Brand, J. et Mathew, T. (2012). Challenging mobile learning discourse through research: Student perceptions of Blackboard Mobile Learn and iPads. *Australasian journal of educational technology*, *28*(4), 639-655.

Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., Gillberg, C. G., Fossberg, H. et Weterberg, L. P. (2005). Computerized training of working

memory in children with ADHD: A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child et Adolescent Psychiatry, 44*(2), 177-186.

Koster, R. (2005). *A Theory Of Fun In Game Design*. New York, NY : Paraglyph Press.

Krahe, J. L. (2007). *Surdité et langage: prothèses, LPC et implants cochléaires*. Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes.

Kuhn, D. et Franklin, S. (2006). *The second decade: What develops (and how)*. Dans W. Damon, R. M. Lerner, D. Kuhn et R. Siegler (dir.), *Handbook of Child Psychology* (Vol. 2) : *Cognition, perception and language* (6th ed., p. 953-993). Hoboken, NJ : Wiley. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/publication/227585022_The_Second_Decade_What_Develops_and_How

La Borderie, R. (1994). *Le métier d'élève*. Paris : Hachette.

Lachapelle-Bégin, L. (2012). Vers une révolution tactile ? *Clic, Bulletin collégial des technologies de l'information et des communications, 78*. Récupéré du site : http://clic.ntic.org/cgi-bin/aff.pl?page=article&id=2244

Laflaquière, J., Settouti, L. S., Prie, Y. et Mille, A. (2006). Trace-Based Framework for Experience Management and Engineering. *10th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*. Bournemouth, UK, Lecture Notes in Computer Science 4251 Springer 2006.

Lafon, J.-C. (1990). La surdité de l'enfant : dépistage et prévention. Dans ENSP (dir.), *Les techniques éducatives et thérapeutiques de handicap chez l'enfant et l'adolescent*. Vanves : CTNERHI.

Larsen, D. P., Butler, A. C. et Roediger, H.L. (2013). Comparative effects of test-enhanced learning and self-explanation on long-term retention. *Medical Education, 47*, 674-682.

Lau, A. et Ho, S. (2012). Using iPad 2 with note-taking apps to enhance traditional blackboard-style pedagogy for mathematics-heavy subjects: A case study. Dans M. J.W. Lee et H. Va Leong (dir.), *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering 2012* (p. H3C-4-H3C-6). New York, NY: IEEE. DOI : 10.1109/TALE.2012.6360349

Lautrey, J. (2005). La recherche des processus caractéristiques de l'intelligence. Dans Lautrey, J. et J. F. Richard (dir.), *L'intelligence*. *Traité des sciences cognitives*. Paris : Hermès- Lavoisier.

Lautrey, J. (2006). Les théories néo-piagétiennes. Dans S. Ionescu et A. Blanchet (dir.), *Nouveau cours de psychologie. Psychologie du développement et psychologie différentielle*, (p. 78-102). Paris : PUF.

Lauwerier, L., de Lenclave, M. B. D. C. et Bailly, D. (2003). Déficience auditive et développement cognitif. Hearing impairment and cognitive development. *Archives de pédiatrie*, *10*(2), 140-146.

Lavergne Boudier, V. et Dambach, Y. (2010). *Serious Games : Révolution pédagogique.* Cachan-London : Hermes-Lavoisier.

Lawton, C. A. (2010). Gender, spatial abilities, and wayfinding. Dans J. C. Chrisler et D. R. McCreary (dir.), *Handbook of gender research in psychology: Vol. 1*. *Gender research in general and experimental psychology* (p. 317–341). New York, NY: Springer. DOI : 10.1007/978-1- 4419-1465-1_16

Lefevre, M., Jean-Daubias, S. et Guin, N. (2011). *Actes de l'Atelier "Personnalisation de l'apprentissage : quelles approches pour quels besoins ?", EIAH 2011*, Mons, Belgique.

Lefevre, M., Guin, N. et Jean-Daubias, S. (2012). Personnaliser des activités pédagogiques de manière unifiée: une solution à la diversité des dispositifs. *STICEF, 19*, 309-351.

Lefevre, M., Butoianu, V., Daubias, P., Daubigney, L., Greffier, F., Guin, N., ... et Terrat, H. (2012). Personnalisation de l'apprentissage: confrontation entre besoins et approches. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation, 19*, 1-23.

Le Grand, J. (2015, juin). *Interfaces textuelles, une difficulté pour l'utilisateur sourd ? Réflexion et éléments de réponse autour d'une étude de cas*. Communication présentée lors de la Conférence sur le Traitement Automatique de Langues Naturelles (TALN 2006), Université de Caen Basse-Normandie, Caen. Récupéré du site :http://www.atala.org/taln_archives/ateliers/2015/ITI/iti-2015-long-003.pdf

Lehalle, H. (2006a). Le développement cognitif à la période de l'adolescence. Dans D. Jacquet, M. Zabalia et H. Lehalle (dir.), *Adolescences d'aujourd'hui* (p. 105-143). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Lehalle, H. (2006b). Cognitive development in adolescence: Thinking freed from concrete constraints. Dans S., Jackson et L. Goossens, L. (dir.), *Handbook of adolescent development* (p. 71-89). Hove (UK): Psychology Press.

Lehalle, H. et Mellier, D. (2005). *Psychologie du développement-2e éd.: Enfance et adolescence*. Paris : Dunod.

Lejeune, A. et Pernin, J.-P. (2004). A Taxonomy for Scenario-based Engineering.

Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2004) (p. 249-256). Portugal : Lisbonne.

Lemaire, P. (1999). *Psychologie cognitive*. De Boeck Supérieur.

Lepot-Froment, C. et Clerebaut, N. (1996). *L'enfant sourd: communication et langage*. Paris : De Boeck Supérieur.

Leybaert, J. (2000). Phonology acquired through the eyes and spelling in deaf children. *Journal of experimental child psychology*, *75*(4), 291-318.

Leybaert, J. et *al*. (2007). Implant cochléaire, plasticité cérébrale et développement du langage. Dans L. K. Jaime (dir.), *Surdité et Langage, Prothèses, LPC et implants cochléaires.* Paris : Presses Universitaires de Vincennes.

Leybaert, J. et Colin, C. (2007). Le rôle des informations visuelles dans le développement du langage de l'enfant sourd muni d'un implant cochléaire. *Enfance, 3(*59), 245-253. DOI : 10.3917/enf.593.0245

Linn, M. C. et Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of gender differences in spatial abilities: A meta-analysis. *Child Development, 56,* 1479–1498. DOI : 10.2307/1130467

Logie, R. H. et Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of cognitive psychology*, *9*(3), 241-257.

Loghin, J. C. (2006). Aide à la compréhension du comportement de l'utilisateur par la transformation des traces collectées. Dans *1res Rencontres Jeunes Chercheurs sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Evry, France, 115-122.

Louis, J. M. et Ramond, F. (2006). *Scolariser l'élève handicapé*. Paris : Dunod.

Lowe, M. et Costello, A. J. (1988). *Symbolic play test*. Windsor : NFER/Nelson.

Lowe, R. et Boucheix, J. M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes?. *Learning and Instruction*, *21*(5), 650-663.

MacCallum, K. (2009). Student characteristics and variables that determine mobile learning adoption: An initial study. Dans *Proceedings of the universal college of learning: teaching and learning conference* (p. 1–8).

Maccoby, E. E. et Jacklin, C. N. (1974). *The psychology of sex differences*. Palo Alto, CA: Stanford University Press.

Mackintosh, N. J. et Bennett, E. S. (2005). What do Raven's Matrices measure? An analysis in terms of sex differences. *Intelligence, 33*, 663–674.

Mahoney, M. J. (1977). Reflexions ont the cognitive learning tren in psychotherapy. *American Psychologist, 32*(1), 5-13.

Marty, J. C. et Mille, A. (2009). *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Hermès science publications-Lavoisier.

Mascio, T. D., Gennari, R., Melonio, A. et Vittorini, P. (2013). Designing games for deaf children: first guidelines. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, *5*(3-4), 223-239.

Masciotra, D. (2005). Réflexivité, métacognition et compétence. *Vie pédagogique, 134*, 29-31.

Mayer, R., (2001). *Multimedia learning*. New York : Cambridge University Press.

Mayes, S. D. et Calhoun, S. L. (2006). WISC- IV and WISC III profiles in children with ADHD. *Journal of Attention Disorders, 9*, 486-49.

Marschark, M. (2000). Education and development of deaf children: or is it development and education?. Dans P. Spencer, C. Erting, et M. Marschark (dir), *Development in Context: The Deaf Child in the Family and at School* (p. 275–292). LEA, Mahwah, NJ.

Marschark, M. (2003). Epilogue: What we Know, What we dont know and what we should know. Dans M. Marschark (dir.), *Oxford handbook of Deaf Stusdies languag and education* (p. 91-94). New York: Oxford University Press.

Marschark, M. (2006). Intellectual functioning of deaf adults and children: Answers and questions. *European Journal of Cognitive Psychology*, *18*(1), 70-89.

Marschark, M. (2007). Comprendre et utiliser les bases cognitives de l'apprentissage chez les enfants sourds. *Enfance*, *59*(3), 271-281.

Marschark, M. et Mayer, T. S. (1998). Mental representation and memory in deaf adults and children. *Psychological perspectives on deafness*, *2*, 53-77.

Marschark, M. et *al*. (2006). Benefits of sign language interpreting and text alternatives for deaf students' classroom learning. *Journal of deaf studies and deaf education*, *11*(4), 421-437.

Martin, T., Berland, M., Benton, T. et Smith, C. P. (2013). Learning programming with IPRO: Te efects of a mobile, social programming environment. *Journal of Interactive Learning Research, 24(*3), 301- 328.

Mazeau, M. (2003). *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*. Paris : Editions Masson.

Mazeau, J. P., Krahe, J. L. et Cesarano, C. (2004). Clavier virtuel multimodal: applications à des situations de handicap. *J3eA (Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes)*, *3*(HORS SÉRIE 1), 24. Récupéré du site de la revue : http://www.j3ea.org/articles/j3ea/pdf/2004/02/j3ea2004624.pdf

Mazet, P., Xavier, J., Guilé, J.M., Plaza, M. et Cohen, D. (2016). *Troubles intellectuels et cognitifs de l'enfant et de l'adolescent. Apprendre-Connaître-Penser*. Paris : Lavosier.

McCabe, B. (2011). An integrated approach to the use of complementary visual learning tools in an undergraduate microbiology class. *Journal of Biological Education, 45*(4), 236-243.

McCaffrey, R. J., Duff, K. et Westervelt, H. J. (2000). *Practitioner's Guide to Evaluating Change With Intellectual Assessment Instruments*. New York : Kluwer Academic Pub.

McClanahan, B., Williams, K., Kennedy, E. et Tate, S. (2012). A breakthrough for Josh: How use of an iPad facilitated reading improvement. *Techtrends, 56*(3), 20-28. DOI : 10.1007/s11528-012-0572-6

McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, *86*(5), 889.

McKechan, S. et Ellis, J. (2012). Collaborative learning in the Scottish curriculum for excellence: Te challenges of assessment and potential of multi-touch technology. *Education, 3-13*. Advanced Online Publication. DOI : 10.1080/03004279.2012.717959

Meadow-Orlans, K. P. (1980). *Deafness and child development*. CA: University of California Press, Berkeley.

Meadow-Orlans, K. P. (1987). An analysis of the effectiveness of early intervention programs for hearing-impaired children. Dans M. J. Guralnick & F. C. Bennett (Dir.), *The effectiveness of early intervention for at-risk and handicapped children* (p. 325-362). New York : Academic Press.

Meelissen, M. R. et Drent, M. (2008). Gender differences in computer attitudes : Does the school matter?. *Computers in Humain Behavior, 24*, 969-985.

Mellet-d'Huart, D. et Michel, G. (2006). *Réalité virtuelle et apprentissage*. *Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Paris: Hermes.

Mellier, D. et Deleau, M. (1991). Handicap sensoriel précoce et communication. Problèmes et perspectives. *Revue internationale de psychologie sociale*, *4*(1/2), 99-122.

Melot, A. M. (1991). Contrôle des conduites de mémorisation et métacognition. *Bulletin de psychologie*, *44* (399), 138-145.

Mille A., Caplat, G. et Philippon, M. (2006). Faciliter les activités des utilisateurs d'environnements informatiques : quoi, quand, comment? *Intellectica, 44*, 121-143.

Mitchell, R. E. et Karchmer, M. A. (2004). When parents are deaf versus hard of hearing: Patterns of sign use and school placement of deaf and hard-of-hearing children. *Journal of deaf studies and deaf education*, *9*(2), 133-152.

Mitrovic, A. (1998). *A Knowledge-Based Teaching System for SQL*. Association for the Advancement of Computing in Education.

Miyamoto, R. T., Osberger, M. J., Robbins, A. M., Myres, W. A., Kessler, K. et Pope, M. L. (1992). Longitudinal evaluation of communication skills of children with single-or multichannel cochlear implants. *Otology et Neurotology*, *13*(3), 215-222.

Moeller, M., Osberger, M. et Eccarius, M. (1986). Language and learning skills of hearing-impaired students. Receptive language skills. *ASHA Monographs, 23*, 41-53.

Mollo, V. (2002). La construction des procédures par la pratique : le rôle des outils ergonomiques. *Actes du XXXVIII-ème Congrès de la SELF, Les évolutions de la prescription* (p. 201-208). France : Aix-en-Provence.

Moore, C. (1994). Attitudes toward computers : the influence of sex stereotypes, experience, ownership and mathematics. *Unisa Psychologia, 21*(1), 20-27.

Moores D. F. (1987). *Educating the deaf: psychology, principles, and practices* (3rd ed). Boston MA: Houghton-Mifflin.

Moores, D. F. (2001). *Educating the Deaf: Psychology, Principles and Practices*. Boston: Houghton Mifflin.

Monod-Ansaldi, R., Tilquin, F. et Daubias, P. (2011). Adaptation du logiciel «Réaction»: besoins et moyens. Dans *Actes en ligne de l'atelier Personnalisation de l'apprentissage: quelles approches pour quels besoins? de la conférence EIAH 2011*. Mons, Belgique. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Philippe_Daubias/publication/268293491_Adaptation_du_logiciel_REACTION_besoins_et_moyens/links/547c95d00cf2cfe203c1f052/Adaptation-du-logiciel-REACTION-besoins-et-moyens.pdf

Moran, M., Hawkes, M. et Gayar, O. E. (2010). Tablet personal computer integration in higher education: Applying the unified theory of acceptance and use technology model to understand supporting factors. *Journal of Educational Computing Research*, *42*(1), 79-101.

Morris, N. P., Ramsay, L. et Chauhan, V. (2012). Can a tablet device alter undergraduate science students' study behavior and use of technology ? *Advances in Psysiology Education, 36*(2), 97-107.

Münzer, S., Seufert, T. et Brünken, R. (2009). Learning from multimedia presentations: Facilitation function of animations and spatial abilities. *Learning and Individual Differences*, *19*(4), 481-485.

Murray, O. T. et Olcese, N. R. (2011). Teaching and Learning with iPads, Ready or Not?. *TechTrends*, *55*(6), p. 42-48.

Myklebust, H. R. (1960). *The psychology of deafness: Sensory deprivation, learning, and adjustment.* New York, NY : Grune et Stratton, Inc.

Myklebust H. R. (dir.) (1976). *Progress in Learning Disabilities*. New York : Grune et Stratton.

Naglieri, J. A. (1997). *Naglieri Nonverbal Ability Tes*t. San Antonio, TX : Harcourt Brace Educational Measurement.

Naglieri, J. A. et Pfeiffer, S. I. (1983). Stability, concurrent and predictive validity of the PPVT-R. *Journal of Clinical Psychology*, *39*(6), 965-967.

Naglieri, J. A. et Das, J. P. (2003). Planning, Attention, Simultaneous, Successive (PASS) Theory : A revision of the concept of intelligence. Dans D. P. Flanagan et P. L. Harrison, (dir.), *Contemporary Intellectual Assessment : Theories, tests, and issues*. (p. 120-135). The Guildford Press.

Nap, H. H., IJsselsteijn, W. A. et De Kort, Y. A. (2009, septembre). Age differences in associations with digital gaming. In *DIGITAL GAMES RESEARCH ASSOCIATION CONFERENCE- DiGRA 2009 Proceedings*. Londres, Angleterre. Récupéré du site : http://www.digra.org/wp-content/uploads/digital-library/09287.31341.pdf

Neville, H. J. et Lawson, D. (1987). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults. *Brain research*, *405*(2), 268-283.

Newcombe, N., Bandura, M. M. et Taylor, D. G. (1983). Sex differences in spatial ability and spatial activities. *Sex Roles*, *9*(3), 377-386.

Newcombe, F. et Ratcliff, G. (1989). Disorders of visuospatial analysis. Dans F. Boller et J. Grafman (dir.), *Handbook of Neuropsychology, Vol. 2* (p. 333-356). Amsterdam : Elsevier.

Newport, E. L. et Meier, R. (1985). The acquisition of American sign language. Dans D.I. SLOBIN (dir.), *The Crosslinguistic Study of Language Acquisition, vol. 1.* (p. 881-938). Hillsdale, N.J. : Erlbaum.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston : Academic Press.

Niemeyer, W. et Starlinger, I. (1981). Do the blind hear better? Investigations on auditory processing in congenital or early acquired blindness II. Central functions. *Audiology*, *20*(6), 510-515.

Ngouem, A. C. (2015). *Les nouvelles technologies dans l'enseignement et l'apprentissage: besoins, utilisations et rentabilités*. Academia - L'Harmattan.

Noël, B. (1997). *La métacognition*. De Boeck Supérieur.

Noël, M. P. (2007). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Belgique, Bruxelles: Mardaga.

Nunes, T., Burman, D., Evans, D. et Bell, D. (2010). Writing a language that you can't hear. *Reading and dyslexia in different orthographies*, 109-128.

O'Connor, N. et Hermelin, B. (1978). *Seeing and hearing and space and time*. Academic Press.

O'Donoghue, G., Nikolopoulos, T. et Archbold, S. (2000). Determinants of speech perception in children after cochlear implantation. *Lancet 356 (9228),* 466–468.

Ohlmann, T. (1990). Les systèmes perceptifs spatiaux vicariants. Dans M. Reuchlin, J. Lautrey, C. Marendaz et T. Ohlmann (dir.), *Cognition: l'individuel et l'universel* (p. 21-58). Paris: Presses Universitaires de France.

Ollagnier-Beldame, M. (2006). *Traces d'interactions et processus cognitifs en activité conjointe : Le cas d'une co-rédaction médiée par un artefact numérique* (thèse de doctorat). Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.

Oléron, P. (1951). Pensée conceptuelle et langage. Performances comparées de sourds-muets et d'entendants dans des épreuves de classement multiple. *Année psychologique, 51*, 89-120.

Oléron, P. (1972). *Langage et développement mental*. Bruxelles : Editions Mardaga.

Oléron, P. (1973). Les handicapés sensoriels. Dans M. Reuchlin (dir.), *Traité de*

*psychologie appliquée : Diagnostic des handicaps et rééducation, (*vol. 7, p. 7-61). Paris : PUF.

Oléron, P. (1981). Aspects récents de l'étude psychologique des enfants sourds. Dans *Les enfants handicapés* (p. 91-152). Paris : Presses Universitaires de France.

Onyancha, R. M., Derov, M. et Kinsey, B. L. (2009). Improvements in spatial ability as a result of targeted training and computer-aided design software use: Analyses of object geometries and rotation types. *Journal of Engineering Education*, *98*(2), 157.

Osberger, M. J. et *al*. (1994). Speech production skills of children with multichannel cochlear implants. *Advances in cochlear implants*, 503-508.

Ostler, E. et Topp, N. (2013). Digital note taking: An investigation of an iPad application as a strategy for content review and practice in intermediate algebra. Dans R. McBride et M. Searson (dir.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2013* (p. 72-77). Chesapeake, VA: AACE.

Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, L., Groff, J., et Boucheix, J. M. (2013). Quel format visuel adopter pour informer les sourds et malentendants dans les transports collectifs. *Le travail humain*, *70*, 57-78.

Paquette, G., Crevier, F. et Aubin, C. (1997). Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage. *In Cognito, 8,* 37-52.

Parasnis, I. (1983). Effects of parental deafness and early exposure to manual communication on the cognitive skills, English language skill, and field independence of young deaf adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *26*(4), 588-594.

Parasnis, I. et Samar, V. J. (1985). Parafoveal attention in congenitally deaf and hearing young adults. *Brain and cognition*, *4*(3), 313-327.

Parasnis, I., Samar, V. J., Bettger, J. G. et Sathe, K. (1996). Does deafness lead to enhancement of visual spatial cognition in children? Negative evidence from deaf nonsigners. *Journal of deaf studies and deaf education*, *1*(2), 145-152.

Paré, G. (2001). *Génération Internet : La prochaine grande génération*. Rapport Bourgogne, Montréal, CIRANO (Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations). Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Guy_Pare/publication/4816340_Generation_Internet_la_prochaine_grande_generation/links/0deec51f1cf0530e55000000/Generation-Internet-la-prochaine-grande-generation.pdf

Paris, S. G., et Winograd, P. (1990). How metacognition can promote academic learning and instruction. *Dimensions of thinking and cognitive instruction*, *1*, 15-51.

Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta psychologica*, *32*, 301-345.

Pascual-Leone, J. (1987). Organismic processes for neo-Piagetian theories: A dialectical causal account of cognitive development. *International Journal of Psychology*, *22*(5-6), 531-570.

Pastré, P. et Rabardel, P. (2005). *Modèles du sujet pour la conception: dialectiques, activités, développement*. Octarès.

Pateyron, B. (1997). *Modélisation des savoirs dans la formation professionnelle, cas du brevet de technicien supérieur en contrôle industriel et régulation automatique* (thèse de doctorat). Université Claude Bernard, Lyon 1, France.

Paul P. V. et Jackson D.W. (1993). *Toward a psychologyof deafness: theoretical and empirical perspectives*. Boston MA: Allyn et Bacon.

Pearce, C. (2008). The truth about baby boomer gamers a study of over-forty computer game players. *Games and Culture*, *3*(2), 142-174.

Pélissier, C. (2011, septembre). *Usage de ressources linguistiques pour la caractérisation de la notion d' ''aide dans la formation'' : le cas du dictionnaire des synonymes et du TLFi*. Communication présentée au colloque AFLS 2011, Nancy, France.

Perraudeau, M. (2006). *Les stratégies d'apprentissage*. *Comment accompagner les élèves dans l'appropriation des savoirs*. Paris : Armand Colin.

Perret-Clermont, A. N. et Nicolet, M. (2001). Vers un renouvellement de la réflexion épistémologique en psychologie. *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif*, 311-319.

Pezaris, E. et Casey, M. B. (1991). Girls who use "masculine" problem-solving strategies on a spatial task: Proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition, 17,* 1–22. DOI : 10.1016/0278-2626(91)90062-D

Piaget, J. (1924). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique: La pensée biologique, la pensée psychologique et la pensée sociologique*. Paris : Presses universitaires de France.

Piaget, J. (1974). *La prise de conscience*. Paris : PUF.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : Presses universitaires de France.

Piaget, J. (1936/1997). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchatel Paris : Delachaux & Niestlé. (Original work published 1936).

Pintner, R. (1923). *Intelligence testing: Methods and results*. New York: H. Holt.

Pintner, R. et Patterson, D. (1916). A measure of the language ability of deaf children. *Psychological Review, 23,* 413–436. DOI : 10.1037/ h0072260

Pintner, R. et Paterson, D. (1923). *A scale of performance tests*. New York : Appleton-Century-Crofts.

Pintner, R. et Reamer, J. F. (1920). A mental and educational survey of schools for the deaf. *American Annals of the Deaf, 65*, 451–472.

Pisoni, D. D. et Geers, A. E. (2000). Working memory in deaf children with cochlear implants: Correlations between digit span and measures of spoken language processing. *The Annals of otology, rhinology & laryngology. Supplement*, *185*, 92-93.

Pollard Jr, R. Q., Dean, R. K., O'Hearn, A. et Haynes, S. L. (2009). Adapting health education material for deaf audiences. *Rehabilitation psychology*, *54*(2), 232.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, *32*(1), 3-25.

Posner, M. I. et Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review, 78*(3), 391-408.

Posner, M. I., Nissen, M. J. et Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. Dans H. L., Pick et I. J. Saltzman (dir.), *Modes of perceiving and processing information* (p. 137-158). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Posner, M. I., Snyder, C. R. et Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of experimental psychology: General*, *109*(2), 160.

Posner, M. I. et Presti, D. E. (1987). Selective attention and cognitive control. *Trends in Neurosciences, 10*(1), 13-17.

Portalier, S. (1981). *Analyse différentielle du déficit et du handicap sensoriels* (thèse de doctorat). Université Lyon 2, Lyon, France.

Portalier, S. (1996). Recherches en Défectologie, approche épistémologique. *Actes du colloque Perception Cognition Handicap, Recherches en Défectologie* (p. 157-162). Lyon, France.

Prensky, M. (2001). Digital Natives, digital immigrants part 1. *On the Horizon, 9*(5), 1-6.

Prifitera, A. et Dersch, J. (1993). Base rates of WISC-III diagnostic subtest patterns among normal, learning-disabled and ADHD samples. Dans B. A. Bracken (dir.), *Journal of Psychoeducational assesment, Monograph Series, Advances in Psychoeducational Assessment: Wechsler Intelligence Scale for children* (3rd ed., p. 43-55). Germantown, TN : Psychoeducational Corporation.

Proksch, J. et Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of cognitive neuroscience*, *14*(5), 687-701.

Pruet, P., Ang, C. S. et Farzin, D. (2016). Understanding tablet computer usage among primary school students in underdeveloped areas: Student's technology experience, learning styles and attitudes. *Computers in Human Behavior*, *55*, 1131-1144.

Pry, R. (2015, juin). *Utilisation des tablettes numériques dans l'apprentissage de la lecture chez les enfants avec trouble du spectre de l'autisme*. Communication présentée à la journée d'information Autisme et nouvelles technologies, Montpellier, France. Récupéré du site : http://www.autisme-ressources-lr.fr/IMG/pdf/11h45-pry-tablettes-apprentissage-lecture-site.pdf

Qiu, Q., Ramirez, D. A., Saleh, S., Fluet, G. G., Parikh, H. D., Kelly, D. et Adamovich, S. V. (2009). The New Jersey Institute of Technology Robot-Assisted Virtual Rehabilitation (NJIT-RAVR) system for children with cerebral palsy: a feasibility study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, *6*(1), 40.

Quigley, S. P. et King, C. M. (1980). An invited article: Syntactic performance of hearing impaired and normal hearing individuals. *Applied Psycholinguistics*, *1*(04), 329-356.

Quigley, S. P. et Kretschmer, R. E. (1982). *The education of deaf children: Issues, theory, and practice*. London, England : Arnold.

Rapport, L. J., Brines, D. B., Theisen, M. E. et Axelrod, B. N. (1997). Full scale IQ as mediator of practice effects: The rich get richer. *The Clinical Neuropsychologist*, *11*(4), 375-380.

Repas, M., Roberts, S., Gramly, C., Cole, M. et Kunz, C. (1982). *Growing up: An introduction to human growth and sexual development*. Columbus, OH: Southwest Community Health Centers.

Reuchlin, M. (1978). Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, *2*, 133-144.

Reuchlin, M. (1990). *Différences individuelles dans le développement conatif de l'enfant*. París: PUF.

Reyde, J. et Leach, J. (1999). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche en licence. *Didaskalia, 12*, 39-61.

Rittenhouse, R. K. (1977). *Horizontal decolage: The development of conservation in deaf students and the effect of the task instructions on their performance* (thèse de doctorat non-publiée). University of Illinois at Urbana-Champaign.

Robert, M. et Chevrier, E. (2003). Does men's advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either seen or felt? *Memory & Cognition, 31,* 1136–1145. DOI : 10.3758/BF03196134

Romainville, M. (2000). Savoir comment apprendre suffit-il à mieux apprendre ? Métacognition et amélioration des performances. Dans R. Pallascio et L. Lafortune (dir.), *Pour une pensée réflexive en éducation* (p. 71-85). Canada, Montréal : Presses de l'Université de Quebec.

Rosenstein, J. (1961). Perception, Cognition and Language in Deaf Children: (A Critical Analysis and Review of the Literature). *Exceptional Children*, *27*(5), 276-284.

Rossing, J., Miller, W., Cecil, A. et Stamper, S. (2012). iLearning: Te future of higher education? Student perceptions on learning with mobile tablets. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning, 12*(2), 1-26. Repéré du site : http://josotl.indiana.edu/article/view/2023

Sachs, L. et Bull, P. (2012). Case study: Using iPad2 for a graduate practicum course. Dans P. Resta (dir.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2012* (p. 3054-3059). Chesapeake, VA: AACE.

Salthouse T. A. (1980). Age and memory: Strategies for localizing the loss. Dans A. L., Poon, J. Fozard, I. Cermak, D. Arenberg et I. Thompson (dir.), *New directions in memory and aging* (p. 47-65). Hillsdale, NJ: Erlbaum

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, *103*(3), 403.

Salthouse, T. A. (2001). Attempted decomposition of age-related influences on two tests of reasoning. *Psychology and Aging*, 16, 251-263.

Samuels, S. J., Begy, G. et Chen, C. C. (1975-1976). Comparison of word recognition speed and strategies of less skilled and more highly skilled readers. *Reading Research Quarterly*, *11*, 72-86.

Sander, E. R. (1997). Analogical transfer as guided by an abstraction process: The case of learning by doing in text editing, journal of Experimented Psychology. Learning. *Memory and Cognition*, *23*, 1459-1483.

Scanlon, M., Drescher, D. et Sarkar, K. (2006, octobre). *Improvement of visual attention through a web-based training program*. Poster presented at Society for Neurosciences Annual Meeting in Atlanta, GA.

Scanlon, M., Drescher, D. et Sarkar, K. (2007a, janvier). *Improvement of visual attention through a web-based training program*. Poster presented at Bay Area Neuroscience Gathering in San Francisco, GA.

Scanlon, M., Drescher, D. et Sarkar, K. (2007b). Improvement of visual attention and working memory trough a web-based cognitive training program. *A Lumos Labs White Paper*, 1-5. Récupéré du site : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.528.8712&rep=rep1&type=pdf

SCEREN (2010). *Mathématiques et surdité*, collection *ASH-Adapter les pratiques pour scolariser tous les élèves*. Lyon : CRDP de Lyon.

Séjourné, A. et Tiberghien, A. (2001). Conception d'un hypermédia en physique et étude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage. Dans E. De Vries et J.-P. Peyrin (dir.), *5ème colloque hypermédia et apprentissages* (p. 103-118). Paris : INRP et IHSA.

Sénat, Session ordinaire 2008-2009, *Rapport d'information fait au nom de la Commission des affaires culturelles sur l'impact des nouveaux médias sur la jeunesses (*Rapport de recherche n°46, p. 15). Récupéré sur le site : https://www.senat.fr/rap/r08-046/r08-0461.pdf

Seyfried, D. N. et Kricos, P. B. (1989). Language and speech of the deaf and hard of hearing. Dans R. L. Schow, M. A. Nerbonne (dir.), *Introduction to audiologic rehabilitation* (3rd, p. 168-229). Allyn et Bacon : Boston M. A.

Siegler, R. S. (2001). *Enfant et raisonnement: le développement cognitif de l'enfant*. De Boeck Supérieur.

Sitzmann, T. (2011). A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Personnel psychology*, *64*(2), 489-528.

Smith, L. B., Quittner, A. L., Osberger, M. J. et Miyamoto, R. (1998). Audition and visual attention: the developmental trajectory in deaf and hearing populations. *Developmental psychology*, *34*(5), 840.

Sørmo, F. et Aamodt, A. (2002, septembre). Knowledge communication and CBR. *6th European Conference on Case-Based Reasoning (ECCBR 2002)*, p. 47-59.

Spencer, P. E. et Meadow-Orlans, K. P. (1996). Play, language, and maternal responsiveness: A longitudinal study of deaf and hearing infants. *Child Development*, *67*(6), 3176-3191.

Spool, J. M., Scanlon, T. N., Schroeder, W., Snyder, C. et Deangelo, T. (1999). *Web site usability: a designer's guide*. San Francisco : Morgan Kaufmann.

Spronck P., Sprinkhuizen-Kuyper I. et Postma E. (2004). Difficulty Scaling of Game AI, *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Games and Simulation* (p. 33-37). Belgium, Eurosis.

Stankov, L. et Roberts, R. D. (1997). Mental speed is not the « basic » process of intelligence. *Personality and Individual Differences*, *22*(1), 69-84.

Stieff, M., Dixon, B. L., Ryu, M., Kumi, B. C., et Hegarty, M. (2013). Strategy Training Eliminates Sex Differences in Spatial Problem Solving in a STEM Domain. *Journal of Educational Psychology*, *106*(2), 390. DOI : 10.1037/a0034823

Stivalet, P., Moreno, Y., Richard, J., Barraud, P.A. et Raphael, C. (1998). Differences in visual search tasks between congenitally deaf and normally hearing adults. *Cognitive Brain Research, 6*, 227-232.

Streri, A. (1991). *Voir, atteindre, toucher*. Paris : Presses Universitaires de France.

Sullivan, R. M. (2013). The tablet inscribed: Inclusive writing instruction with the iPad. *College Teaching, 61*(1), 1-2. DOI : 10.1080/87567555.2 012.700339

Sung, E. et Mayer, R. E. (2013). Online multimedia learning with mobile devices and desktop computers: An experimental test of Clark's methods-not-media hypothesis. *Computers in Human Behavior*, *29*(3), 639-647.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, *12*(2), 257-285.

Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. Dans R. E. Mayer (dir.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.

Sweller, J. et Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, *2*(1), 59-89.

Szagun, G. (2004). Learning by ear: on the acquisition of case and gender marking by German-speaking children with normal hearing and with cochlear implants. *Journal of child language*, *31*(01), 1-30.

Tarmizi, R. A. et Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of educational psychology*, *80*(4), 424.

Tchounikine, P. (2002). Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. *Revue I3-Information Interaction Intelligence*, *2*, 59-95.

Tchounikine, P. (2004). *Platon-1: quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH. Rapport de l'Action Spécifique « Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH*. Récupéré du site : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00190179/document

Terrat, H. et Sagot, J. (2011). *Pictop, un outil informatique spécialisé pour accompagner la scolarisation des élèves handicapés dans la maîtrise de la langue*. Atelier Personnalisation de l'apprentissage: quelles approches pour quels besoins?, *EIAH 2011*. Mons, Belgique.

Tijus, C. et Blanchet, A. (2001). *Introduction à la psychologie cognitive*. Paris : Nathan.

Thurstone, L. L. (1938). Primary mental Abilities. *American Journal of Sociology,* 44(2), 310-311. Chicago : University of Chicago Press.

Todman, J. et Cowdy, N. (1993). Processing of visual-action codes by deaf and hearing children: Coding orientation or M-capacity?. *Intelligence*, *17*(2), 237-250.

Toupiol, G. (2006). *Apprendre et comprendre: place et rôle de la métacognition dans l'aide spécialisée*. Paris : Retz.

Travnjak, J. (2014). *Adaptation sur tablette tactile d'un logiciel pour enfants en âge préscolaire* (thèse de maitrise, Université de Genève, Suisse). Récupéré du site : http://tecfa.unige.ch/tecfa/maltt/memoire/Travnjak2014.pdf

Tricot, A. (2007). *Apprentissages et documents numériques*. Paris : Belin.

Tyler R. S., Fryauf-Bertschy, H., Kelsay D. M. R., Gantz B. J., Woodworth G. P. et Parkinson A. (1997). Speech perception by prelingually deaf children using cochlear implants. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, *117*, 180–187.

Valentin, A., Mateos, P. M., Gonzales-Tablas, M. M., Perez, L., Lopez, E. et Garcia, I. (2013). Motivation and learning strategies in the use of ICTs among university students. *Computers et Education, 61*, 52-58.

Vandenberg, S. G. et Kuse, A. R. (1978). Mental rotations: A group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills, 47,* 599–604. DOI : 10.2466/pms.1978.47.2.599

Veit, P. et Bizaguet, G. (1988). La prothèse auditive, ses compléments et ses extensions : évolution récente et perspectives d'avenir. *Réadaptation*, *249*, 2-8.

Vergnaud, G. (2005). Travail et activité humaine. Dans P. Rabardel et P. Pastré (dir.), *Concevoir pour les genèses instrumentales. Modèles du sujet pour la conception: dialectiques, activités, développement* (p. 219-222). Toulouse : Octarès. Récupéré sur le site : https://rfp.revues.org/205#quotation

Vernon, M. (1967). Rh factor and deafness: the problem, its psychological, physical, and educational manifestations. *Exceptional children*, *34*, 5-12.

Vernon, M. (1968/2005). Fifty years of research on the intelligence of deaf and hard of hearing children : A review of literature and discussion of implications. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 10,* 225-231.

Verpoorten, D., Glahn, C., Kravcik, M., Ternier, S. et Specht, M. (2009, septembre). Personalisation of learning in virtual learning environments. Dans *European Conference on Technology Enhanced Learning* (p. 52-66). Springer Berlin Heidelberg.

Vinter, S. et Chalumeau, P. (1983). Les débuts de la fonction symbolique chez l'enfant sourd. *Bulletin d'Audiophonologie, 16*, 534- 553.

Virole, B. (2000). *Psychologie de la surdité*. Paris : De Boeck Supérieur.

Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K. et Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning : A meta-analysis. Journal of *Educational Computing Research, 34*, 229-243.

Voyer, D., Voyer, S. et Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin, 117,* 250–270. DOI : 10.1037/0033- 2909.117.2.250

Vygotsky, L. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Editions Sociales.

Wainwright, K. (2012). Putting iPads in the hands of faculty. Dans *Proceedings of the ACM SIGUCCS 40th annual conference on Special interest group on university and college computing services* (p. 139-144). New York, NY, USA: ACM. DOI : 10.1145/2382456.2382489

Wallander, B. H., Green, C. S. et Bavelier, D. (2001). Stretching the limits of visual

attention: the case of action video games. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *2*(2), 222–230.

Walters, D. (2004). *Deaf people can stop smoking, too*. Baltimore: Baltimore Medical System.

Warrington, E. K. et McCarthy, R. A. (1994). Multiple meaning systems in the brain: A case for visual semantics. *Neuropsychologia*, *32*(12), 1465-1473.

Wasniewski, E. (2013). One-on-one with an iPad: A faculty perspective on iPad supports for students with disabilities. Dans R. McBride et M. Searson (dir.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2013* (p. 4346-4351). Chesapeake, VA: AACE.

Wastiau, P., Kearney, C. et Van den Berghe, W. (2009). *How are digital games used in schools ?*. Belqique, Bruxelles : European Schoolnet. Récupéré du site : http://games.eun.org/upload/gis-full_report_en.pdf

Weil-Barais, A. (dir.) (2004). *Les apprentissages scolaires*. Paris : Bréal.

Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring system: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge*. California: Morgan Kaufmann Publishers.

Wechsler, D. (1991). *WMS-R: échelle clinique de mémoire de Wechsler-Révisée: mémoire figurative*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Wechsler, D. (2003). Intelligence Scale for Children—Fourth edition (WISC-IV) administration and scoring manual. *San Antonio, TX: The Psychological Association*.

Wechsler, D. (2005a). *Manuel de l'Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants- 4è édition*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *Echelle non verbale d'intelligence de Wechsler*. Paris : ECPA.

Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E. et Karp, S. (1971). *A Manual for the Embedded Figures Test*. California : Consulting Psychologists Press.

Wong, B. Y. (1991). Metacognition and learning disabilities. *Learning about learning disabilities*, 231-258.

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H. et Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology, 105*(2), 249-265. DOI: 10.1037/a0031311

Yannakakis, G. N. et Hallam, J. (2009). Real-time game adaptation for optimizing player satisfaction. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, *1*(2), 121-133.

Yun, C. ,Trevino, P., Holtkamp, W. et Deng, Z (2010). PADS: enhancing gaming experience using profile-based adaptive difficulty system, *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games (*p. 31-36). ACM.

Yussen, S. R. (1985). The role of metacognition in contemporary theories of cognitive development. *Metacognition, cognition, and human performance*, *1*, 253-283. New York : Forrest-Presley, Academic Press.

Zbakh, M., Fontana, I. L., Ahnache, K., Mortera, A. et Krahe, J. L. (2010, juin). Pictokids: un logiciel de communication pictographique avec sortie textuelle ou vocale. Dans *Conférence-HANDICAP 2010* (p. 155-160). Paris, France. Récupéré sur le site : http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/recherche/Pictokids_Handicap2010.pdf

Zbakh, M., Daassi-Gnaba, H. et Krahe, J. L. (2010, juin). Tête parlante codeuse en LPC pour les sourds et les malentendants. In *Conférence-HANDICAP 2010* (p. 16-21). Paris, France. Récupéré sur le site : http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/recherche/Papier_Handicap_2010_Zbakh_Daassi_Krahe.pdf

Zimmerman, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement : An overview. *Educational Psychologist, 25*, 3-17.

Table des matières

Introduction générale ____ **13**

Chapitre 1. Approche théorique ____ **17**

I. La surdité et les principales caractéristiques des personnes sourdes et malentendants ____ **19**

A. La surdité en France : définition et statistiques ____ 19

1. Prévalence de la surdité ____ 19

2. Les déficiences auditives : tentatives de définitions ____ 19

B. Classification ____ 20

1. En fonction de la localisation de l'altération à l'origine de la surdité. ____ 21

1.1. La surdité de transmission ____ 21

1.2. La surdité de perception ____ 21

1.3. Des surdités mixtes (perception et transmission) ____ 21

1.4. Les surdités nerveuses ____ 21

2. Les niveaux de déficiences auditives ____ 22

3. Classification selon la date d'acquisition ____ 23

3.1. Déficiences auditives pré-linguales (congénitales et très précocement acquises) ____ 23

3.2. Déficiences auditives post-linguales ____ 23

C. Etiologie ____ 23

1. Etiologie génétique ____ 24

2. Etiologie prénatale ____ 24

3. Etiologie néonatale ____ 24

4. Etiologie postnatale ____ 24

D. Surdité, privation et compensation sensorielle ____ 25

E. Relations systémiques et la Théorie de la Vicariance sensorielle ____ 25

1. L'Analyse des Systèmes ____ 25

2. La Théorie de la Vicariance sensorielle et le déficit auditif 26

2.1. Le transfert intermodal 27

F. La prise en charge des enfants déficients auditifs 28

1. Les techniques d'appareillages 30

1.1. Les aides auditives 30

1.2. Les prothèses auditives 30

1.3. Les implants cochléaires 31

G. Quelques particularités des personnes sourdes et malentendantes 32

II. L'apprentissage et le développement cognitif des personnes sourdes et malentendantes 35

A. Apprentissage et Théories de l'apprentissage 35

1. Tentatives de définition 35

1.1. L'apprentissage et l'approche psychologique 35

1.2. L'apprentissage et l'approche éducative 37

2. Les mécanismes d'apprentissage 37

3. Les composantes de l'apprentissage 38

B. Le développement cognitif 39

1. Les théories générales du développement cognitif : la théorie du développement de Piaget 39

2. Le développement cognitif de l'adolescent 40

3. Le développement cognitif de l'enfant sourd 41

3.1. Le jeu symbolique chez l'enfant sourd 44

3.2. Les apprentissages scolaires chez l'enfant sourd 45

C. Les habilités cognitives non-verbales 46

1. La mémoire 47

2. L'attention et ses caractéristiques chez les personnes sourdes et malentendantes 48

2.1. Attention visuelle 48

2.2. Concentration 49

3. Vitesse de traitement 50

4. La résolution de problèmes 51

III. Les nouvelles technologies 52

A. La révolution technologique et l'adaptation numérique 52

1. Communication en temps réel 53

2. Stockage et rendu 54

B. L'enfant-élève sourd et les nouvelles technologies 55

1. Apprendre et Jouer : méthodes 55

2. Outil et jouet : la tablette tactile 57

2.1. Les aides technologiques à l'apprentissage 58

2.2. Utilité, utilisabilité et acceptabilité des outils 59

2.3. Le virtuel numérique et l'intelligence face aux écrans 60

2.4. Les tablettes tactiles et l'intelligence face aux écrans 61

3. Leçon et jeu : les logiciels ludo-éducatifs 64

3.1. Serious Games : tentatives de définitions 65

3.2. Classification 66

3.3. Réaliser un jeu sérieux 67

3.4. Les performances du jeu sérieux 68

3.5. L'influence du jeu et des écrans sur notre cerveau 70

C. Personnalisation de l'apprentissage : une adaptation pour individualiser le processus d'apprentissage 71

D. Traces d'activités 73

E. TERENCE, une méthode au-delà d'un jeu 75

1. Introduction 75

2. Description 76

3. Axes de travail 77

4. Méthodologie 78

4.1. Les histoires 78

4.2. Les jeux 79

4. 2. 1. Jeux intelligents 79

4. 2. 2. Jeux de relaxation 82

5. Bonnes pratiques retenues 83

5.1. Simplification et homogénéité 83

5.2. Focalisation et distraction 83

5.3. Multi-tâche 83

Chapitre 2. Problématique et hypothèses 85

I. Objectifs et problématique 87

II. Hypothèses 88

A. Hypothèse générale : les nouvelles technologies informatiques influenceraient positivement le processus d'apprentissage des élèves. 88

B. Le logiciel *Digisthésia* aurait une influence positive sur l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution des problèmes de l'élève. 88

1. L'attention 89

2. La mémoire 89

3. La vitesse de traitement 89

4. La résolution des problèmes 89

C. La médiation des nouvelles technologies renforce plus les potentialités cognitives des élèves sourds et malentendants 89

D. Corrélation entre les subtests de l'Echelle non-verbale d'intelligence de Wechsler (WNV) et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* 90

E. Corrélation entre le temps de réaction et le niveau de difficulté du tour. 90

1. Corrélation entre le score final et le niveau final aux jeux. 90

Chapitre 3. Méthodologie 93

I. Introduction 95

II. Participants 95

III. Outils 98

A. Introduction 98

B. Acteurs 98

C. Création 99

1. Spécifications 100

2. Conception 101

3. Développement 103

3.1. Application conteneur 103

3.2. Les jeux 104

3.3. Infrastructure 105

3.4. Le design 106

3.5. Optimisation de l'eXpérience Utilisateur 110

IV. Exploitation des jeux 113

A. Le jeu ludo-éducatif « La Chasse au trésor » 113

1. Base théorique 113

2. Mode de fonctionnement 114

3. Consignes 116

4. Cotation 116

5. Niveaux et séquences ____ 117

B. Le jeu ludo-éducatif « Débarquement » ____ 118

1. Base théorique ____ 118

2. Mode de fonctionnement ____ 118

3. Consignes ____ 120

4. Cotation ____ 121

5. Niveaux et séquences ____ 121

C. Le jeu ludo-éducatif « Piège de la cascade » ____ 122

1. Base théorique ____ 122

2. Mode de fonctionnement ____ 122

3. Consignes ____ 125

4. Cotation ____ 125

5. Niveaux et séquences ____ 126

D. Le jeu ludo-éducatif « Puzzle » ____ 127

1. Base théorique ____ 127

2. Mode de fonctionnement ____ 128

3. Consignes ____ 130

4. Cotation ____ 130

5. Niveaux et séquences ____ 131

V. Procédure ____ 132

A. L'évaluation initiale : le WISC Non-Verbal ____ 132

B. Les subtests ____ 133

1. Matrices ____ 133

2. Code ____ 135

3. Mémoire spatiale ____ 136

4. Arrangement d'images 137

C. Pré-test 137

D. Test 138

E. Post-test 139

Chapitre 4. Présentation des résultats 141

I. Comparabilité des groupes 143

A. Le test de Mann-Whitney U 143

II. Périmètre de l'analyse 145

III. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves? 147

A. Données descriptives 148

B. Le test de Mann-Whitney U 148

C. Sous-hypothèses 149

III. Etude 2 : Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ? 151

IV. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ? 153

A. « Matrices » versus « La chasse au trésor » 153

1. Données descriptives 153

2. Analyse corrélationnelle 154

B. « Code » versus « Débarquement » 154

1. Données descriptives 155

2. Analyse corrélationnelle 155

C. « Mémoire spatiale » versus « Piège de la cascade » 156

1. Données descriptives 156

2. Analyse corrélationnelle 156

V. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ? 157

A. Données descriptives 157

B. Analyses corrélationnelles 158

C. Corrélation entre le score final d'une partie et le niveau final atteint 159

VI. Etude de cas 163

A. Etude de cas 1 : Y. 163

B. Etude de cas 2 : K. 165

C. Etude de cas 3 : N. 167

D. Etude de cas 4 : No. 169

E. Comparaisons entre les 4 élèves 171

Chapitre 5. Discussion des résultats 177

I. Etude 1 : La médiation des nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves? 179

II. Etude 2. Est-ce que le logiciel *Digisthésia* est adapté plus aux caractéristiques des personnes sourdes et malentendantes ? 181

III. Etude 3 : Corrélation entre les sous-tests de la WNV et les jeux éducatifs du logiciel *Digisthésia* ? 186

IV. Etude 4. Corrélation entre le temps de réaction pour les essais et le niveau de difficulté du tour ? 190

Conclusions 193

Difficultés rencontrées 195

Limites de la recherche 196

Perspectives du projet 196

Références bibliographiques 199

Table des matières 237

ANNEXES **253**

Sommaire des Tableaux

Tableau 1. Repérage des Limitations fonctionnelles auditives (LFA) 20

Tableau 2. Statistiques descriptives des groupes (N = 80) 96

Tableau 3. Statistiques descriptives des sous-groupes (N=80) 98

Tableau 4. Principales caractéristiques numériques du jeu « La chasse au trésor » 117

Tableau 5. Principales caractéristiques numériques du jeu « Débarquement » 122

Tableau 6. Principales caractéristiques numériques du jeu « Piège de la cascade » 126

Tableau 7. Principales caractéristiques numériques du jeu « Puzzle » 131

Tableau 8. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les élèves ayant reçu l'entraînement et le groupe de contrôle 143

Tableau 9. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les participants déficients auditifs ayant reçu l'entraînement et le groupe témoin 144

Tableau 10. Comparaison des notes d'échelle WNV T1 obtenues par les participants entendants ayant reçu l'entraînement Digisthésia et le groupe témoin 144

Tableau 11. Comportement des joueurs Digisthésia (N=40) 146

Tableau 12. Statistiques descriptives de la note échelle WNV T2 (N=80) 148

Tableau 13. Comparaison des notes d'échelle WNV T2 obtenues par les élèves ayant reçu l'entraînement et le groupe témoin 149

Tableau 14. Comparaison des moyennes obtenues pour les sous-échelles WNV T2 150

Tableau 15. Statistiques descriptives pour les variables du test de Wilcoxon 151

Tableau 16. Signification du test de Wilcoxon 152

Tableau 17. Statistiques descriptives du jeu « La chasse au trésor » et des sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 30). 154

Tableau 18. Analyse corrélationnelle entre le jeu « La chasse au trésor » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 30). 154

Tableau 19. Statistiques descriptives du jeu « Débarquement » et des sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 25). 155

Tableau 20. Analyse corrélationnelle entre le jeu « Débarquement » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 25). 155

Tableau 21. Statistiques descriptives du jeu « Piège de la cascade » et des sous-échelles WNV (Sujets : N = 24). 156

Tableau 22. Analyse corrélationnelle entre le jeu « Piège de la cascade » et les sous-échelles WNV (Sujets : *N* = 24). 156

Tableau 23. Statistiques descriptives du niveau de difficulté et temps moyen pour essai en secondes (N=40) 158

Tableau 24. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Chasse au trésor ». 158

Tableau 25. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Piège de la cascade ». 158

Tableau 26. Analyse corrélationnelle entre le niveau de difficulté d'un tour et le temps moyen de réflexion par essai pour le jeu « Débarquement ». 159

Tableau 27. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Chasse au trésor ». 160

Tableau 28. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Piège de la cascade ». 160

Tableau 29. Analyse corrélationnelle entre le score d'une partie et le niveau final atteint pendant la partie pour le jeu « Débarquement». 160

Tableau 30. Nombre de parties jouées par jeu 171

Tableau 31. Récapitulatif scores du WNV T2 et ceux des jeux *Digisthésia*. 173

Tableau 32. Temps moyen de réaction par niveau pour le jeu « Chasse au trésor ». 174

Sommaire des Figures

Figure 1. Cône d'apprentissage d'Edgar Dale 69

Figure 2. Représentation d'une histoire dans l'interface de TERENCE 79

Figure 3. Question de type "Qui" 80

Figure 4. Question de type "Quoi". 80

Figure 5. Jeu de sous-type Avant - Après 81

Figure 6. Jeu de sous-type Avant - Pendant 81

Figure 7. Jeu de sous-type Pendant - Après 81

Figure 8. Jeu de sous-type Avant - Pendant - Après 81

Figure 9. Jeu de sous-type Cause 82

Figure 10. Jeu de sous-type Effet 82

Figure 11. Jeu de sous-type Cause - Effet 82

Figure 12. Jeu "Trouver les différences" 82

Figure 13. Jeu "Exploser les ballons" 82

Figure 14. Jeu "Couper les fruits" 83

Figure 15. Cycle en V 99

Figure 16. Interface d'administration PhpMyAdmin 106

Figure 17. Ebauches d'éléments d'interface 107

Figure 18. Ecran d'accueil de l'application *Digisthésia* 108

Figure 19. Barre de score des jeux *Digisthésia* 109

Figure 20. Jeu iPad « Pre-Civilization Marble Age » 110

Figure 21. Retour visuel essais 111

Figure 22. Partie de Puzzle de niveau 6 111

Figure 24. Ecran d'une mission du jeu Agricola _____ 111

Figure 25. Aide pour Piège de la cascade _____ 112

Figure 26. Etiquettes des jeux sur l'écran d'accueil _____ 112

Figure 27. Récapitulatif score final partie _____ 112

Figure 28. Indications passage de niveau _____ 112

Figure 31. Démarrage tour de niveau 6 _____ 114

Figure 32. Réponses correctes et erronées _____ 114

Figure 33. Tour de niveau 1 _____ 119

Figure 34. Tour de niveau 3 _____ 119

Figure 35. Démarrage tour _____ 123

Figure 36. Rappel trajet au niveau 3 _____ 123

Figure 37. Démarrage tour de niveau 4 _____ 128

Figure 38. Avancement tour de niveau 4 _____ 128

Figure 39. Finalisation tour de niveau 4 _____ 128

Figure 40. Filtrage des sujets par jeu. _____ 146

Figure 41. Répartition des parties par jeu *Digisthésia*. _____ 148

Figure 42. Temps moyens de réflexion par essai (en millisecondes) pour les différents niveaux de difficulté des tours pour chaque jeu *Digisthésia*. _____ 157

Figure 43. Vitesse de réaction moyenne par niveau pour le jeu « Piège de la cascade »184

Figure 44. Vitesse de réaction moyenne par niveau pour le jeu « Débarquement » ___ 184

ANNEXES

Convention d'expérimentation

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

Convention d'expérimentation
Recherche doctorale en Psychologie
Ecole doctorale EPIC
Intervention en Institutions et Etablissements

Entre
L'établissement d'accueil : SSEFIS - OVE
représenté par son Directeur : Madame Alexandrine BARONNIER
19 rue Marius Grosso - 69120 VAULX EN VELIN
Personnes référentes de la recherche dans l'établissement : Laurence ROSEAU, Chef de service et Françoise COULON, Orthophoniste

Et
L'école doctorale EPIC Education Psychologie Information Communication ED 485
Représentée par son directeur : André ROBERT

Il a été convenu ce qui suit :

Article 1
Cette convention ne peut concerner que des doctorants régulièrement inscrits à un doctorat de l'Université de Lyon et dans l'école doctorale sus désignée, pour l'année universitaire 2014-2015

Article 2
Au cours de l'année universitaire Madame Nicoleta PETROIU
Demeurant 80 A Rue de Château Gaillard 69100 VILLEURBANNE
Mail : nicoleta.petroiu@gmail.com - Tel : 06 99 66 71 78
Inscrite en 3ème année de Doctorat de Psychologie à l'université Lumière Lyon 2
Sera en expérimentation dans l'établissement ci-dessus désigné afin de conduire une recherche sur : *L'implantation des nouvelles technologies (comme des tablettes tactiles) dans l'apprentissage des élèves sourds et malentendants. L'objectif est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage par la médiation des nouveaux outils comme les tablettes tactiles.*
Pour les besoins de sa thèse dans le laboratoire : Santé Individu Société
La période de l'expérimentation est fixée du 1er mars 2015 au 1er juin 2015
selon un calendrier plus précis annexé à la présente convention.

Article 3
De fait, une expérimentation scientifique impose au doctorant de respecter les principes du code de la santé (cf Loi n°2004-801 du 6 aout 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel). Un formulaire d'information et d'autorisation formalise le consentement sollicité auprès des titulaires de l'autorité parentale, en cas d'expérimentation avec des mineurs ou des majeurs protégés par la loi (cf). En cas de manquement à ces principes, l'expérimentation du doctorant pourrait être interrompue.

Article 4
L'établissement ne retire aucun profit direct de la présence du doctorant qui demeure sous le contrôle et l'autorité de son Ecole doctorale EPIC-Université Lyon 2, bien que soumis au code de déontologie professionnelle. Le doctorant est ainsi tenu à l'observation du secret médical et professionnel.

Article 5
Durant tout son cursus, le doctorant est contrôlé par le service de médecine universitaire qui s'assure qu'il est à jour de ses vaccinations.

Direction de la recherche et des écoles doctorales (DRED)
Campus Berges du Rhône
86 rue Pasteur F69365 Lyon cedex 07
Téléphone : +33 (0)4 78 69 73 76 - Télécopie : +33 (0)4 72 71 98 33
recherche@univ-lyon2.fr - http://univ-lyon2.fr

Article 6
Le doctorant ne peut prétendre à aucune rémunération. Sa recherche sera faite au bénéfice de la communauté scientifique. En conséquence cette expérimentation ne donne lieu à aucune prise en charge ni aucun remboursement de la CPAM.

Article 7
Le doctorant régulièrement inscrit à l'université Lyon 2 bénéficie du régime de la sécurité sociale dont il dépend pendant l'année universitaire (du 1er octobre au 30 septembre), soit régime étudiant, soit régime général des salariés, soit ayant-droit d'un tiers affilié au régime général des salariés, soit assuré volontaire.

Article 8
L'université Lumière Lyon 2 verse chaque année, par l'intermédiaire du Rectorat de Lyon, des cotisations URSSAF. Les doctorants sont couverts pour les risques « accidents du travail » conformément à l'article L146 de la Sécurité Sociale.

Article 9
De plus le doctorant doit être couvert par une assurance « Responsabilité Civile » pour les risques qu'il encourt ou fait encourir à des tiers pendant la durée de l'expérimentation. Responsabilité civile valable jusqu'au 30 septembre de l'année universitaire en cours.

Article 10
En cas d'accident sur le lieu de l'expérimentation prévenir immédiatement le secrétariat de l'école doctorale Epic (04 78 69 74 51 ou bien 04 78 69 70 58).

Fait à LYON en double exemplaire le 01.06.2015

Le directeur de thèse	Le directeur de l'Ecole doctorale	Le directeur de l'Etablissement	Le doctorant
M. Serge POIZAT	M. André ROBERT	M	Mme Michela PETRACCI
Signature	Signature	Signature	signature

Comme l'expérimentation se fera avec du matériel prêté gracieusement par l'entreprise
LOYALTY TECHNOLOGY
6 RUE DES AULNES, 69410 CHAMPAGNE AU MONT D'OR
représentée par son Directeur des Technologies web et mobiles
Monsieur Stefan TICU - stefan.ticu@loyaltytechnology.com - 04 27 19 01 57

Signature et cachet

Loyalty Company
Siège social :
100 allée des Frênes, 69760 Limonest
Adresse administrative :
Les Carrés du Parc - 10, Rue des Rosières
69410 Champagne au Mont d'Or
Tél. 04 26 23 06 00 - Fax 04 26 23 06 99
SIRET : 451 699 445

Formulaire de d'autorisation parentale

FORMULAIRE D'INFORMATION ET D'AUTORISATION

I. CONTEXTE : Beaucoup de recherches ont contribué à améliorer la pédagogie auprès des enfants sourds. Considérant le nombre important de ces élèves scolarisées en éducation ordinaire, la question se pose de l'adaptation de la pédagogie à leur demande spécifique.

L'objectif de cette recherche est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, déjà largement utilisés par les enfants entendants, ne pourrait pas permettre d'introduire des didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des élèves sourds?

Notre but, dans cette étude, est de créer de **la valeur ajoutée** dans le cadre d'apprentissages actuels, à travers de techniques innovantes. Il s'agira aussi, dans le cadre d'une pédagogique inclusive, de mieux sédimenter les notions apprises en classe.

L'utilisation des nouvelles technologies (comme les tablettes tactiles) est favorisée car il s'agit d'instruments de travail à forte intuitivité et dont l'utilisation est d'usage ludique.

Généralement et beaucoup d'études empiriques l'ont montré, les personnes sourds sont très sensibles aux aspects figuratifs des messages. Il s'agira donc d'exploiter la dimension logique des systèmes informatiques et d'imaginer des logiciels éducatifs proches de leurs intérêts et de leurs compétences. L'utilisation des tablettes numériques présente beaucoup d'avantages : elle peut enrichirent des ressources d'apprentissage dans un environnement d'apprentissage attachant et d'un grand intérêt. On peut parler d'un dynamisme interactionnelle de la tablette car on peut toujours adapter et modifier son contenu et en même temps l'évolution de chaque enfant (les résultats aux jeux éducatifs, le temps de réaction, le nombre d'erreurs). L'ipad offre également une indépendance et une autonomie du sujet face aux situations problèmes qu'on lui propose.

I

I.INFORMATION SUR RECHERCHE

1. Personne concernée : Nicoleta Petroiu, doctorante à l'Université Lyon 2

2. Responsable du traitement (directeur de recherche): M. le Professeur Serge Portalier de l'Université Lyon 2

3. Destinataires des données : Université Lyon 2

4. Finalités du traitement des données (Titre du projet de recherche) : IMPLANTATION DES NOUVELLES METHODES ET TECHNIQUES DANS L'APPRENTISSAGE DES ELEVES SOURDS ET MALENTENDANTS.

III.ACCES AUX DONNEES et TRANSFERT DES DONNEES

La personne concernée s'engage à respecter et à ne pas diffuser les données. Les données à caractère personnel recueillies pour la présente étude ne peuvent prétendre à aucun transfert, une extension du traitement de données imposera une information à la personne concernée.

CONSENTEMENT ECLAIRE de la personne concernée

Représentant légal :

Mère ☐ Père ☐ Autre personne ☐

Je soussigné(e)……

autorise Mme Nicoleta Petroiu, doctorante en psychologie à l'Université Lumière Lyon 2, encadrée par M. le Professeur Serge Portalier de l'Université Lumière Lyon 2 et accompagnée par le S.S.E.F.I.S. (Service de Soutien à l' Education Familiale et à l' Intégration Scolaire) de Villeurbanne :

a) à faire passer à…….. une série d'épreuves dans le cadre d'une expérimentation scientifique.

b) à utiliser les données obtenues dans le cadre d'un travail de recherche en psychologie, par le biais d'un traitement statistique.

c) à communiquer les résultats de ce travail lors de la soutenance publique.

et ce, dans le respect de **l'anonymat et de l'éthique** garantis par la lois n°70-643 du juillet 1970 ainsi que les dispositions du Code Pénal (art. 368) et du Code Civil (art. 9).

Les informations recueillis font l'objet d'un traitement statistique destiné à la : création et validation d'un didacticiel adapté aux spécificités cognitives des élèves sourds et malentendants.

Conformément à la loi « Informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectifications aux informations qui vous concernent, que vous pouvez exercer en vous adressant à Nicoleta Petroiu, nicoleta.petroiu@gmail.com, tel. 06 99 66 71 78.

Vous pouvez également, pour de motifs légitimes, vous opposer au traitement des données qui vous concernant.

Date et signature :

Un exemple de formulaire d'autorisation parentale pour un mineur

FORMULAIRE D'INFORMATION ET D'AUTORISATION

I. CONTEXTE : Beaucoup de recherches ont contribué à améliorer la pédagogie auprès des enfants sourds. Considérant le nombre important de ces élèves scolarisées en éducation ordinaire, la question se pose de l'adaptation de la pédagogie à leur demande spécifique.

L'objectif de cette recherche est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, déjà largement utilisés par les enfants entendants, ne pourrait pas permettre d'introduire des didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des élèves sourds?

Notre but, dans cette étude, est de créer de **la valeur ajoutée** dans le cadre d'apprentissages actuels, à travers de techniques innovantes. Il s'agira aussi, dans le cadre d'une pédagogique inclusive, de mieux sédimenter les notions apprises en classe.

L'utilisation des nouvelles technologies (comme les tablettes tactiles) est favorisée car il s'agit d'instruments de travail à forte intuitivité et dont l'utilisation est d'usage ludique.

Généralement et beaucoup d'études empiriques l'ont montré, les personnes sourds sont très sensibles aux aspects figuratifs des messages. Il s'agira donc d'exploiter la dimension logique des systèmes informatiques et d'imaginer des logiciels éducatifs proches de leurs intérêts et de leurs compétences. L'utilisation des tablettes numériques présente beaucoup d'avantages : elle peut enrichirent des ressources d'apprentissage dans un environnement d'apprentissage attachant et d'un grand intérêt. On peut parler d'un dynamisme interactionnelle de la tablette car on peut toujours adapter et modifier son contenu et en même temps l'évolution de chaque enfant (les résultats aux jeux éducatifs, le temps de réaction, le nombre d'erreurs). L'ipad offre également une indépendance et une autonomie du sujet face aux situations problèmes qu'on lui propose.

II.INFORMATION SUR RECHERCHE

1. Personne concernée : Nicoleta Petroiu, doctorante à l'Université Lyon 2

2. Responsable du traitement (directeur de recherche): M. le Professeur Serge Portalier de l'Université Lyon 2

3. Destinataires des données : Université Lyon 2

4. Finalités du traitement des données (Titre du projet de recherche) : IMPLANTATION DES NOUVELLES METHODES ET TECHNIQUES DANS L'APPRENTISSAGE DES ELEVES SOURDS ET MALENTENDANTS.

III.ACCES AUX DONNEES et TRANSFERT DES DONNEES

La personne concernée s'engage à respecter et à *ne* pas diffuser les données. Les données à caractère personnel recueillies pour la présente étude ne peuvent prétendre à aucun transfert, une extension du traitement de données imposera une information à la personne concernée.

CONSENTEMENT ECLAIRE de la personne concernée

Représentant légal : Alexandr SALES

Mère □ Père ☒ Autre personne □

Je soussigné(e) Dr SALES Eric

autorise Mme Nicoleta Petroiu, doctorante en psychologie à l'Université Lumière Lyon 2, encadrée par M. le Professeur Serge Portalier de l'Université Lumière Lyon 2 et accompagnée par le S.S.E.F.I.S. (Service de Soutien à l' Education Familiale et à l' Intégration Scolaire) de Villeurbanne :

a) à faire passer à Alexandr SALES une série d'épreuves dans le cadre d'une expérimentation scientifique.

b) à utiliser les données obtenues dans le cadre d'un travail de recherche en psychologie, par le biais d'un traitement statistique.

c) à communiquer les résultats de ce travail lors de la soutenance publique.

et ce, dans le respect de **l'anonymat et de l'éthique** garantis par la lois n°70-643 du juillet 1970 ainsi que les dispositions du Code Pénal (art. 368) et du Code Civil (art. 9).

Les informations recueillis font l'objet d'un traitement statistique destiné à la : création et validation d'un didacticiel adapté aux spécificités cognitives des élèves sourds et malentendants.

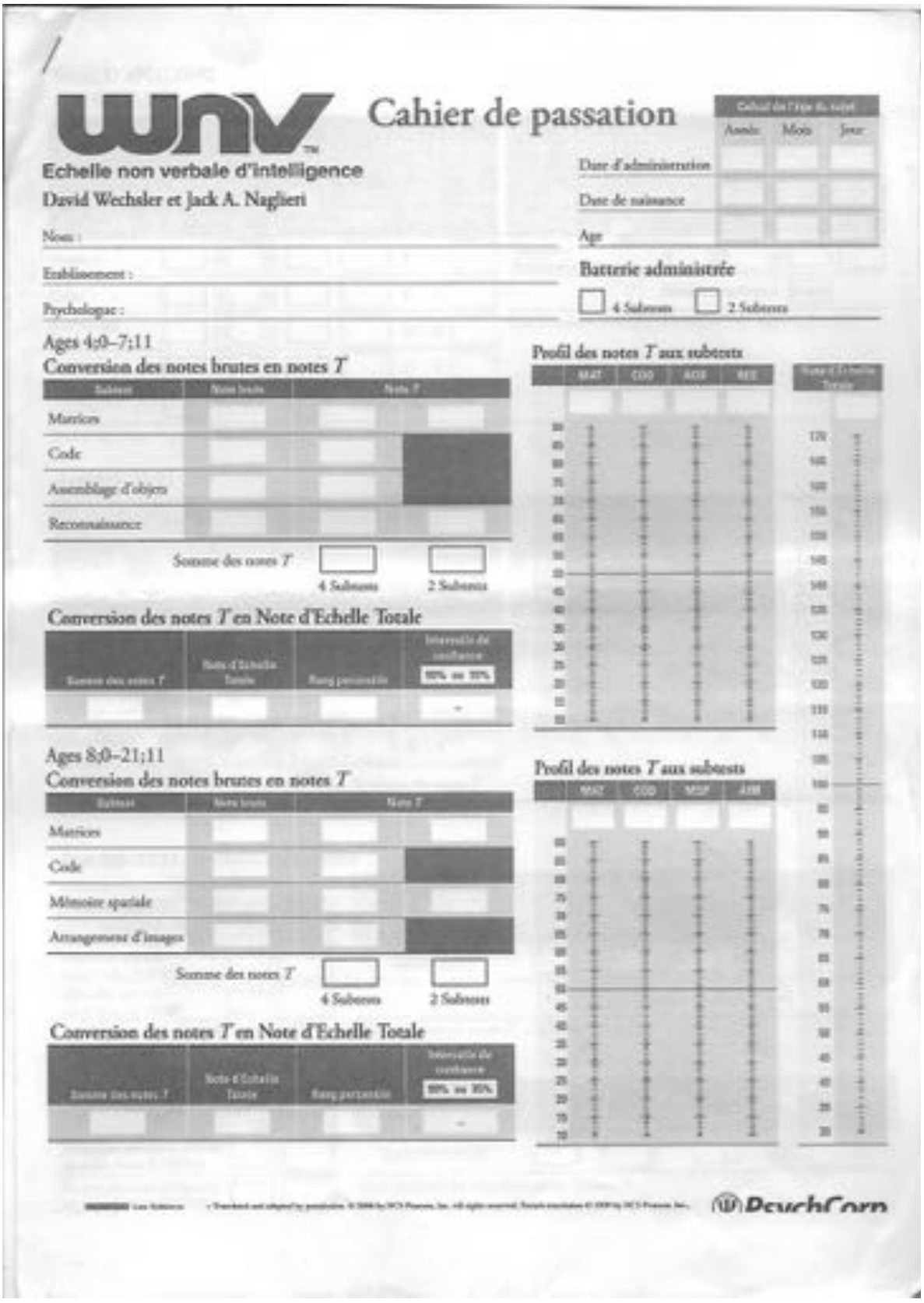
Conformément à la loi « Informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectifications aux informations qui vous concernent, que vous pouvez exercer en vous adressant à Nicoleta Petroiu, nicoleta.petroiu@gmail.com, tel. 06 99 66 71 78.

Vous pouvez également, pour de motifs légitimes, vous opposer au traitement des données qui vous concernant.

Date et signature :

11/05/15

Cahier de passation de l'échelle non verbale d'intelligence



WNV™ Cahier de passation

Echelle non verbale d'intelligence

David Wechsler et Jack A. Naglieri

Nom :

Établissement :

Psychologue :

Calcul de l'âge du sujet — Année / Mois / Jour

Date d'administration

Date de naissance

Âge

Batterie administrée

☐ 4 Subtests ☐ 2 Subtests

Ages 4:0–7:11

Conversion des notes brutes en notes *T*

Subtest	Note brute	Note *T*	
Matrices			
Code			
Assemblage d'objets			
Reconnaissance			

Somme des notes *T* — 4 Subtests / 2 Subtests

Conversion des notes *T* en Note d'Échelle Totale

Somme des notes *T*	Note d'Échelle Totale	Rang percentile	Intervalle de confiance 90% ou 95%
			-

Profil des notes *T* aux subtests

MAT COD AOB REC

Ages 8:0–21:11

Conversion des notes brutes en notes *T*

Subtest	Note brute	Note *T*	
Matrices			
Code			
Mémoire spatiale			
Arrangement d'images			

Somme des notes *T* — 4 Subtests / 2 Subtests

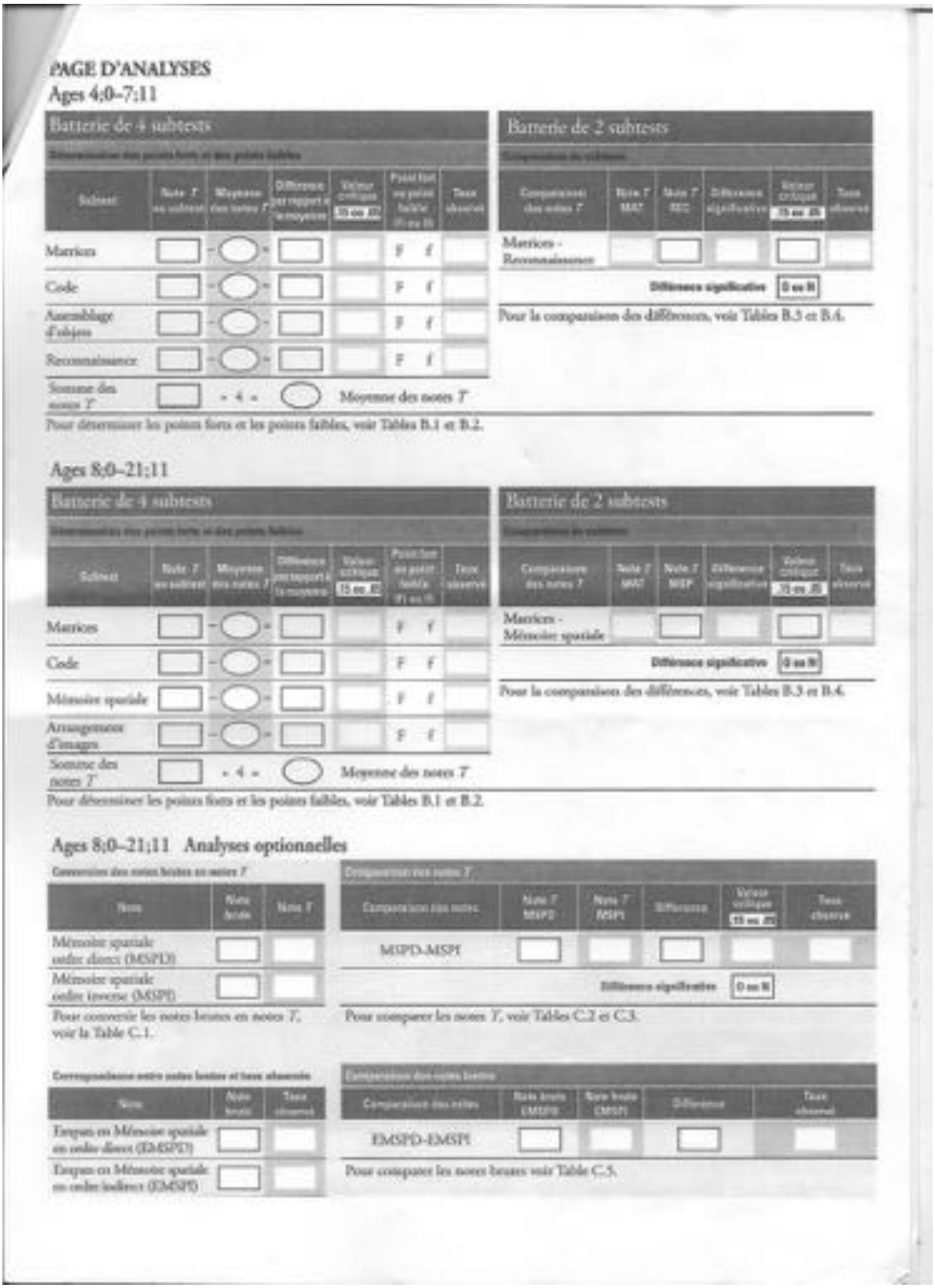
Conversion des notes *T* en Note d'Échelle Totale

Somme des notes *T*	Note d'Échelle Totale	Rang percentile	Intervalle de confiance 90% ou 95%
			-

Profil des notes *T* aux subtests

MAT COD MEP AOB

PsychCorp



PAGE D'ANALYSES

Ages 4;0–7;11

Batterie de 4 subtests

Subtest	Note T au subtest	Moyenne des notes T	Différence par rapport à la moyenne	Valeur critique 15 ou 16	Point fort ou point faible (F) ou (f)	Taux observé
Matrices		– ◯ =			F f	
Code		– ◯ =			F f	
Assemblage d'objets		– ◯ =			F f	
Reconnaissance		– ◯ =			F f	
Somme des notes T		÷ 4 = ◯	Moyenne des notes T			

Pour déterminer les points forts et les points faibles, voir Tables B.1 et B.2.

Batterie de 2 subtests

Comparaison des notes T	Note T MAT	Note T REC	Différence significative	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
Matrices - Reconnaissance					
			Différence significative	0 ou N	

Pour la comparaison des différences, voir Tables B.3 et B.4.

Ages 8;0–21;11

Batterie de 4 subtests

Subtest	Note T au subtest	Moyenne des notes T	Différence par rapport à la moyenne	Valeur critique 15 ou 16	Point fort ou point faible (F) ou (f)	Taux observé
Matrices		– ◯ =			F f	
Code		– ◯ =			F f	
Mémoire spatiale		– ◯ =			F f	
Arrangement d'images		– ◯ =			F f	
Somme des notes T		÷ 4 = ◯	Moyenne des notes T			

Pour déterminer les points forts et les points faibles, voir Tables B.1 et B.2.

Batterie de 2 subtests

Comparaison des notes T	Note T MAT	Note T MSP	Différence significative	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
Matrices - Mémoire spatiale					
			Différence significative	0 ou N	

Pour la comparaison des différences, voir Tables B.3 et B.4.

Ages 8;0–21;11 Analyses optionnelles

Conversion des notes brutes en notes T

Note	Note brute	Note T
Mémoire spatiale ordre direct (MSPD)		
Mémoire spatiale ordre inverse (MSPI)		

Pour convertir les notes brutes en notes T, voir la Table C.1.

Comparaison des notes T

Comparaison des notes	Note T MSPD	Note T MSPI	Différence	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
MSPD-MSPI					
			Différence significative	0 ou N	

Pour comparer les notes T, voir Tables C.2 et C.3.

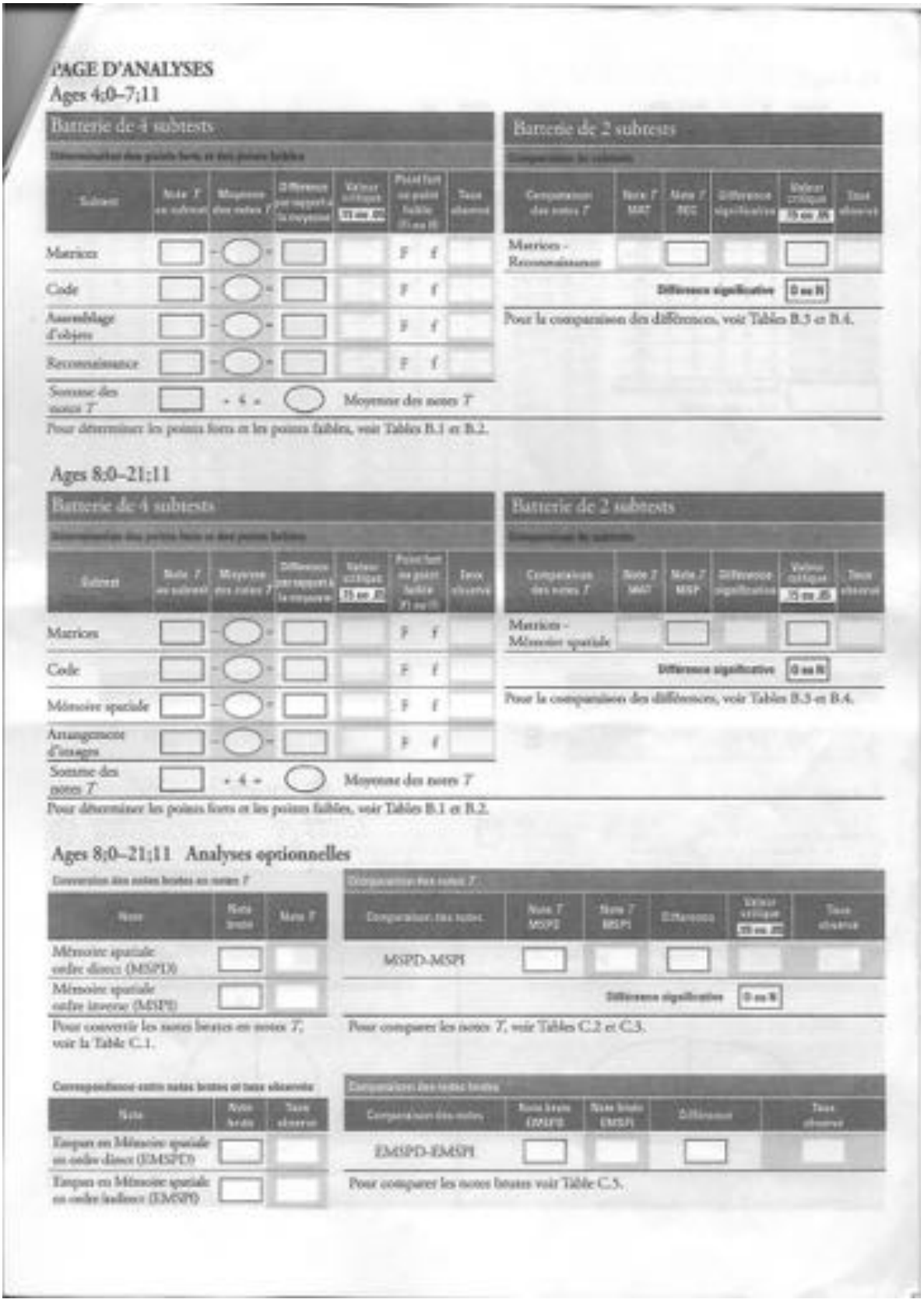
Correspondance entre notes brutes et taux observés

Note	Note brute	Taux observé
Empan en Mémoire spatiale en ordre direct (EMSPD)		
Empan en Mémoire spatiale en ordre indirect (EMSPI)		

Comparaison des notes brutes

Comparaison des notes	Note brute EMSPD	Note brute EMSPI	Différence	Taux observé
EMSPD-EMSPI				

Pour comparer les notes brutes voir Table C.5.



PAGE D'ANALYSES

Ages 4;0–7;11

Batterie de 4 subtests

Subtest	Note T au subtest		Moyenne des notes T		Différence par rapport à la moyenne	Valeur critique 15 ou 16	Point fort ou point faible (F ou f)		Taux observé
Matrices		–		=			F	f	
Code		–		=			F	f	
Assemblage d'objets		–		=			F	f	
Reconnaissance		–		=			F	f	
Somme des notes T		÷ 4 =		Moyenne des notes T					

Batterie de 2 subtests

Comparaison des notes T	Note T MAT	Note T REC	Différence significative	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
Matrices – Reconnaissance					

Différence significative : 0 ou fr

Pour la comparaison des différences, voir Tables B.3 et B.4.

Pour déterminer les points forts et les points faibles, voir Tables B.1 et B.2.

Ages 8;0–21;11

Batterie de 4 subtests

Subtest	Note T au subtest		Moyenne des notes T		Différence par rapport à la moyenne	Valeur critique 15 ou 17	Point fort ou point faible (F ou f)		Taux observé
Matrices		–		=			F	f	
Code		–		=			F	f	
Mémoire spatiale		–		=			F	f	
Arrangement d'images		–		=			F	f	
Somme des notes T		÷ 4 =		Moyenne des notes T					

Batterie de 2 subtests

Comparaison des notes T	Note T MAT	Note T MSP	Différence significative	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
Matrices – Mémoire spatiale					

Différence significative : 0 ou fr

Pour la comparaison des différences, voir Tables B.3 et B.4.

Pour déterminer les points forts et les points faibles, voir Tables B.1 et B.2.

Ages 8;0–21;11 Analyses optionnelles

Conversion des notes brutes en notes T

Note	Note brute	Note T
Mémoire spatiale ordre direct (MSPD)		
Mémoire spatiale ordre inverse (MSPI)		

Pour convertir les notes brutes en notes T, voir la Table C.1.

Comparaison des notes T

Comparaison des notes	Note T MSPD	Note T MSPI	Différence	Valeur critique 15 ou 16	Taux observé
MSPD-MSPI					

Différence significative : 0 ou fr

Pour comparer les notes T, voir Tables C.2 et C.3.

Correspondance entre notes brutes et taux observés

Note	Note brute	Taux observé
Empan en Mémoire spatiale en ordre direct (EMSPD)		
Empan en Mémoire spatiale en ordre inverse (EMSPI)		

Comparaison des notes brutes

Comparaison des notes	Note brute EMSPD	Note brute EMSPI	Différence	Taux observé
EMSPD-EMSPI				

Pour comparer les notes brutes voir Table C.5.

Matrices

Ages 4–21

Item	Réponse	Note
D	1 2 3 4 NSP/NR	
A	1 2 3 4 NSP/NR	
B	1 2 3 4 NSP/NR	
C	1 2 3 4 NSP/NR	
1	1 2 3 4 NSP/NR	0 1
2	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
3	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
4	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
5	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
6	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
7	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
8	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
9	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
10	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
11	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
12	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
13	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
14	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
15	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
16	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
17	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
18	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
19	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
20	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
21	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
22	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
23	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
24	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
25	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
26	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
27	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
28	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
29	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
30	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
31	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
32	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
33	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
34	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
35	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
36	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
37	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
38	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
39	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
40	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
41	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1

Note brute totale à Matrices (Maximum = 41) :

Code

(Temps Limite : 120 secondes)

Ages 4–21

Forme	Temps Limite	Temps mis par le sujet	Note brute totale
A	120"		(Max = 72)
B	120"		(Max = 100)

Assemblage d'objets

(Temps Limite : Voir chaque item)

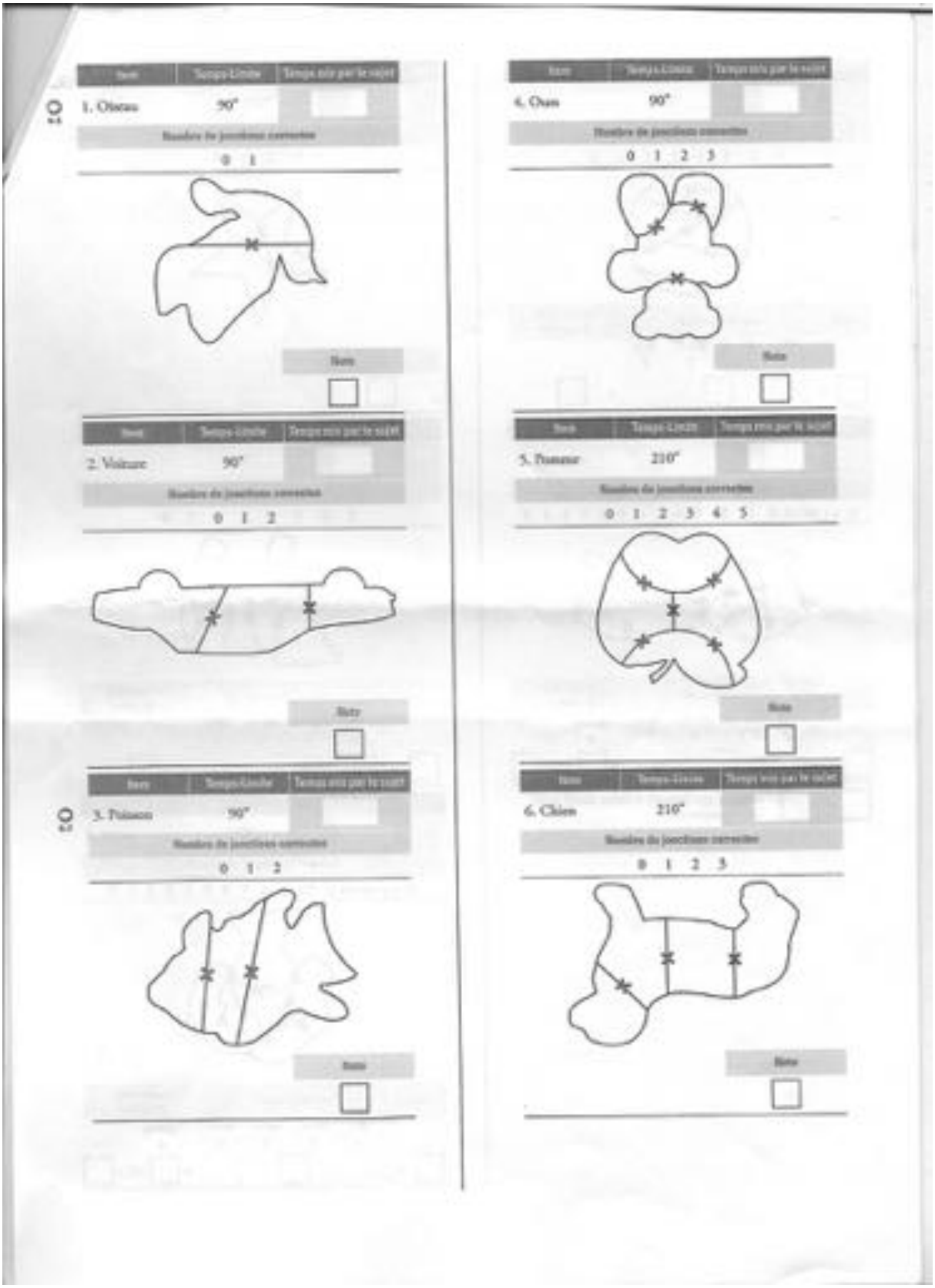
Ages 4–7

Item	Temps Limite	
Démo. Ballon	Aucun	

Nombre de jonctions correctes : 0 1

Item	Temps Limite	
Ex. Hot Dog	Aucun	

Nombre de jonctions correctes : 0 1


1. Oiseau
90"
0 1
2. Voiture
90"
0 1 2
3. Poisson
90"
0 1 2
4. Chien
90"
0 1 2 3
5. Fromage
210"
0 1 2 3 4 5
6. Chien
210"
0 1 2 3

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet
7. Etoile	210"	

Nombre de jonctions correctes

0 1 2 3

Note

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet
8. Vous	210"	

Nombre de jonctions correctes

0 1 2 3 4 5 6 7

N jonctions correctes	Temps de tracé	Note
	1-30 / 3 ; 31-60 / 2 ; 61-90 / 1 ; >90 / 0	

□ + □ = □

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet
9. Arbre	210"	

Nombre de jonctions correctes

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 (à diviser par 2)

N jonctions correctes	Temps de tracé	Note
arrondi à	1-30 / 3 ; 31-60 / 2 ; 61-90 / 1 ; >90 / 0	

□ ÷2= □ + □ = □

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet
10. Balle	210"	

Nombre de jonctions correctes

0 1 2 3 4 5 6 7

N jonctions correctes	Temps de tracé	Note
	1-70 / 3 ; 71-100 / 2 ; 101-120 / 1 ; >120 / 0	

□ + □ = □

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet
11. Lunettes	210"	

Nombre de jonctions correctes

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 (à diviser par 2)

N jonctions correctes	Temps de tracé	Note
arrondi à	1-70 / 3 ; 71-100 / 2 ; 101-120 / 1 ; >120 / 0	

□ ÷2= □ + □ = □

Note brute totale à Assemblage d'objets (Maximum = 56) □

Reconnaissance

Ages 4–7

Item	Réponse	Note
D.	1 2 3 NSP/NR	
A.	1 2 3 NSP/NR	
B.	1 2 3 NSP/NR	
C.	1 2 3 NSP/NR	
1.	1 2 3 4 NSP/NR	0 1
2.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
3.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
4.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
5.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
6.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
7.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
8.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
9.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
10.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
11.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
12.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
13.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
14.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
15.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
16.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
17.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
18.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
19.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
20.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1
21.	1 2 3 4 5 NSP/NR	0 1

Note brute totale à Reconnaissance (Maximum = 21)

Mémoire spatiale

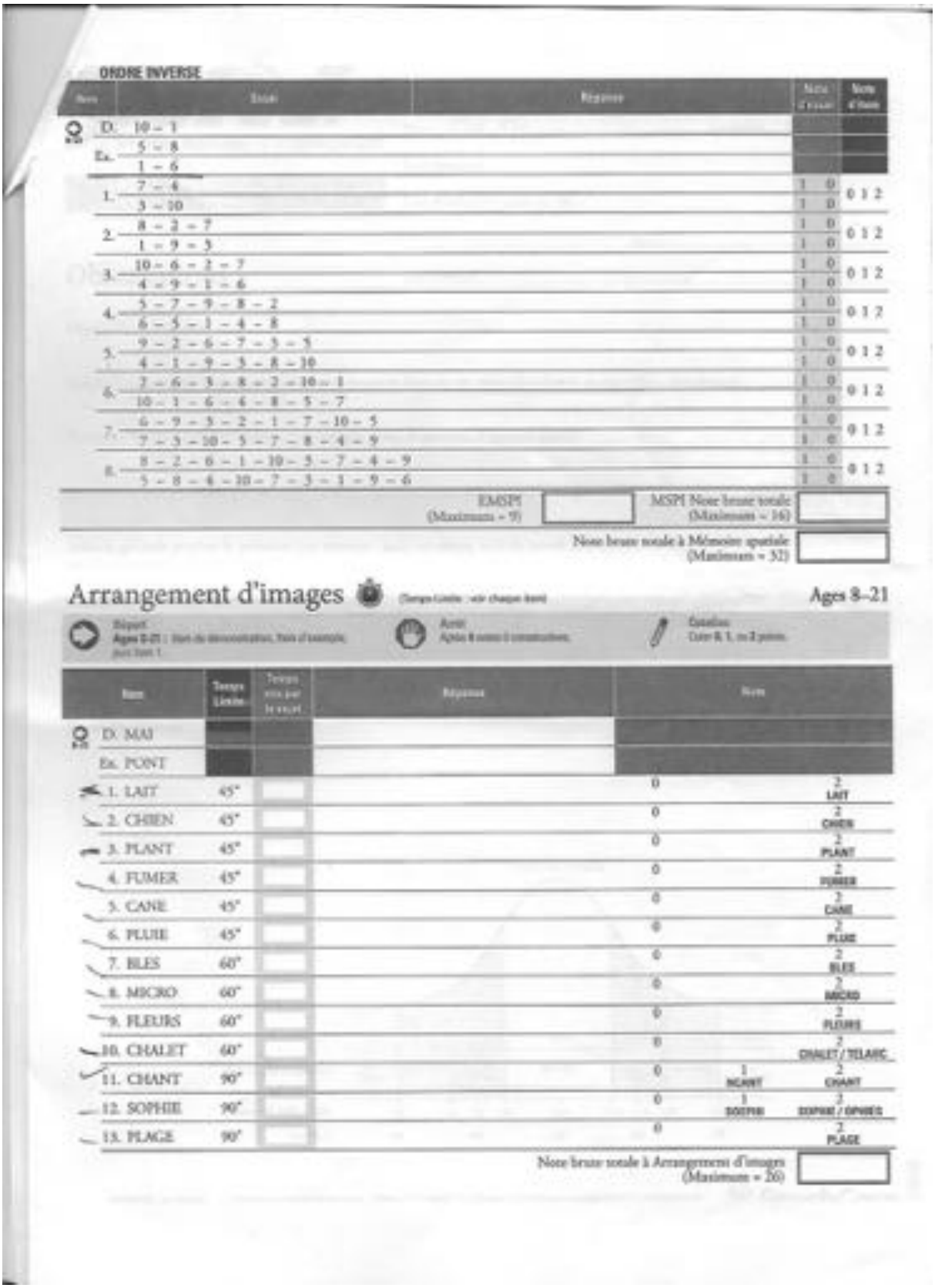
Ages 8–21

ORDRE DIRECT

Item	Essai	Réponse	Note (2 essais)	Note d'item
D.	10 – 1			
Ex.	1 – 6			
	5 – 8			
1.	5 – 10		1 0	0 1 2
	7 – 4		1 0	
2.	1 – 9 – 3		1 0	0 1 2
	8 – 2 – 7		1 0	
3.	4 – 9 – 1 – 6		1 0	0 1 2
	10 – 6 – 2 – 7		1 0	
4.	6 – 5 – 1 – 4 – 8		1 0	0 1 2
	5 – 7 – 9 – 8 – 2		1 0	
5.	4 – 1 – 9 – 3 – 8 – 10		1 0	0 1 2
	9 – 2 – 6 – 7 – 3 – 5		1 0	
6.	10 – 1 – 6 – 4 – 8 – 5 – 7		1 0	0 1 2
	2 – 6 – 3 – 8 – 2 – 10 – 1		1 0	
7.	7 – 3 – 10 – 5 – 7 – 8 – 4 – 9		1 0	0 1 2
	6 – 9 – 3 – 2 – 1 – 7 – 10 – 5		1 0	
8.	5 – 8 – 4 – 10 – 7 – 3 – 1 – 9 – 6		1 0	0 1 2
	8 – 2 – 6 – 1 – 10 – 3 – 7 – 4 – 9		1 0	

EMSPD (Maximum = 9)

MSPD Note brute totale (Maximum = 16)



ORDRE INVERSE

Item	Essai	Réponse	Note (1 essai)	Note (2 essais)
D.	10 – 1			
Ex.	5 – 8			
	1 – 6			
1.	7 – 4		1 0	0 1 2
	3 – 10		1 0	
2.	8 – 2 – 7		1 0	0 1 2
	1 – 9 – 5		1 0	
3.	10 – 6 – 2 – 7		1 0	0 1 2
	4 – 9 – 1 – 6		1 0	
4.	5 – 7 – 9 – 8 – 2		1 0	0 1 2
	6 – 5 – 1 – 4 – 8		1 0	
5.	9 – 2 – 6 – 7 – 3 – 5		1 0	0 1 2
	4 – 1 – 9 – 3 – 8 – 10		1 0	
6.	7 – 6 – 3 – 8 – 2 – 10 – 1		1 0	0 1 2
	10 – 1 – 6 – 4 – 8 – 5 – 7		1 0	
7.	6 – 9 – 3 – 2 – 1 – 7 – 10 – 5		1 0	0 1 2
	7 – 3 – 10 – 5 – 7 – 8 – 4 – 9		1 0	
8.	8 – 2 – 6 – 1 – 10 – 3 – 7 – 4 – 9		1 0	0 1 2
	5 – 8 – 4 – 10 – 7 – 3 – 1 – 9 – 6		1 0	

EMSPI (Maximum = 9) | MSPI Note brute totale (Maximum = 16)

Note brute totale à Mémoire spatiale (Maximum = 32)

Arrangement d'images

(Temps Limité : voir chaque item)

Ages 8–21

Départ
Ages 8-21 : Item de démonstration, Item d'exemple, puis Item 1

Arrêt
Après 4 zones 0 consécutives

Cotation
Cotez 0, 1, ou 2 points.

Item	Temps Limite	Temps mis par le sujet	Réponse	Note	
D.	MAI				
Ex.	PONT				
1.	LAIT	45"		0	2 LAIT
2.	CHIEN	45"		0	2 CHIEN
3.	PLANT	45"		0	2 PLANT
4.	FUMER	45"		0	2 FUMER
5.	CANE	45"		0	2 CANE
6.	PLUIE	45"		0	2 PLUIE
7.	BLES	60"		0	2 BLES
8.	MICRO	60"		0	2 MICRO
9.	FLEURS	60"		0	2 FLEURS
10.	CHALET	60"		0	2 CHALET / TELAVIC
11.	CHANT	90"		0 1 RGANT	2 CHANT
12.	SOPHIE	90"		0 1 DOSTHI	2 SOPHIE / OPHIES
13.	PLAGE	90"		0	2 PLAGE

Note brute totale à Arrangement d'images (Maximum = 26)

WNV™

Echelle non verbale d'intelligence

Cahier de passation

Nom :

Sexe : ☐M ☐F Latéralité : ☐D ☐G

Établissement :

Lieu d'administration du test :

Psychologue :

Observations

Motif de la consultation

Langue (par exemple : langue maternelle, compétence en français, en compréhension et en expression, articulation)

Problèmes visuels / auditifs / moteurs (par exemple : port de lunettes, d'appareil auditif)

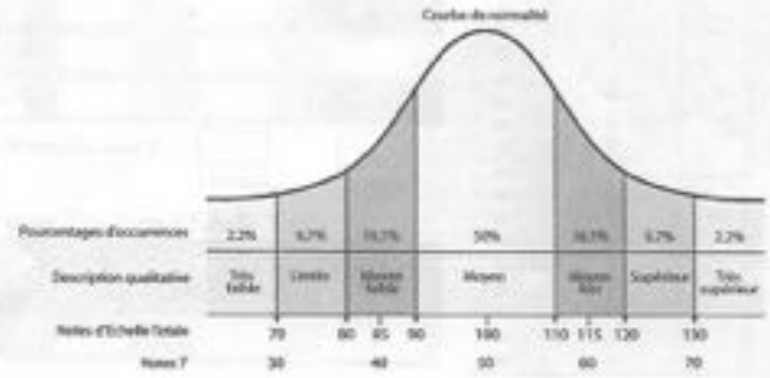
Attention et concentration (par exemple : normal, hyperactif, reste assis tranquillement)

Attitude générale pendant la passation (par exemple : parle volontiers, style de travail, intérêts, motivations, comportement face à la réussite, à l'échec)

État émotionnel

Comportements atypiques / verbalisations (par exemple : persévérations, mouvements stéréotypés, verbalisations atypiques)

Autres observations



Les Éditions • Translated and adapted in accordance. © 2006 by NCS Pearson, Inc. All rights reserved. French translation © 2009 by NCS Pearson, Inc.

DevisCom

Détails de calcul SPSS pour l'applications des tests

Tableau 8

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
WNV_pre	80	88.91	14.337	57	119
entraine	80	.50	.503	0	1

Mann-Whitney Test

Ranks

	entraine	N	Mean Rank	Sum of Ranks
WNV_pre	Sans entrainement	40	39.18	1567.00
	Avec entrainement	40	41.83	1673.00
	Total	80		

Test Statistics[a]

	WNV_pre
Mann-Whitney U	747.000
Wilcoxon W	1567.000
Z	-.510
Asymp. Sig. (2-tailed)	.610

a. Grouping Variable: entraine

Tableau 9

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
WNV_pre	40	87.18	14.184	57	119
population	40	1.00	1.013	0	2

Mann-Whitney Test

Ranks

	population	N	Mean Rank	Sum of Ranks
WNV_pre	Sourds sans entrainement	20	19.83	396.50
	Sourds avec entrainement	20	21.18	423.50
	Total	40		

Test Statistics[a]

	WNV_pre
Mann-Whitney U	186.500
Wilcoxon W	396.500
Z	-.366
Asymp. Sig. (2-tailed)	.715
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.718[b]

a. Grouping Variable: population

b. Not corrected for ties.

Tableau 10

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
WNV_pre	40	90.65	14.457	57	118
population	40	2.00	1.013	1	3

Mann-Whitney Test

Ranks

	population	N	Mean Rank	Sum of Ranks
WNV_pre	Entendants sans entrainement	20	20.15	403.00
	Entendants avec entrainement	20	20.85	417.00
	Total	40		

Test Statistics[a]

	WNV_pre
Mann-Whitney U	193.000
Wilcoxon W	403.000
Z	-.190
Asymp. Sig. (2-tailed)	.850
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.862[b]

a. Grouping Variable: population

b. Not corrected for ties.

Tableau 13

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
WNV_post_ok	80	91.55	14.891	53	120
entraine	80	.50	.503	0	1

Mann-Whitney Test

Ranks

	entraine	N	Mean Rank	Sum of Ranks
WNV_post_ok	Sans entrainement	40	34.65	1386.00
	Avec entrainement	40	46.35	1854.00
	Total	80		

Test Statistics[a]

	WNV_post_ok
Mann-Whitney U	566.000
Wilcoxon W	1386.000
Z	-2.253
Asymp. Sig. (2-tailed)	.024

a. Grouping Variable: entraine

Tableau 16

Descriptive Statistics

population		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Entendants entraînés	WNV_pre	20	91.60	14.915	64	118
	WNV_post	20	95.00	13.891	66	115
Sourds et malentendants entraînés	WNV_pre	20	87.30	14.235	57	104
	WNV_post	20	94.40	16.782	53	114

Wilcoxon Signed Ranks Test

Ranks

population			N	Mean Rank	Sum of Ranks
Entendants entraînés	WNV_post - WNV_pre	Negative Ranks	3[a]	10.33	31.00
		Positive Ranks	16[b]	9.94	159.00
		Ties	1[c]		
		Total	20		
Sourds et malentendants entraînés	WNV_post - WNV_pre	Negative Ranks	2[a]	3.25	6.50
		Positive Ranks	18[b]	11.31	203.50
		Ties	0[c]		
		Total	20		

a. WNV_post < WNV_pre

b. WNV_post > WNV_pre

c. WNV_post = WNV_pre

Test Statistics[a]

population		WNV_post - WNV_pre
Entendants entraînés	Z	-2.582[b]
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.010
Sourds et malentendants entraînés	Z	-3.683[b]
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Tableau 18

Correlations

			matrice_T_2	code_T_2	mémoire_T_2	matrice_jeu
Spearman's rho	matrice_T_2	Correlation Coefficient	1.000	.505**	.338	.417*
		Sig. (2-tailed)	.	.004	.068	.022
		N	30	30	30	30
	code_T_2	Correlation Coefficient	.505**	1.000	.518**	.333
		Sig. (2-tailed)	.004	.	.003	.072
		N	30	30	30	30
	mémoire_T_2	Correlation Coefficient	.338	.518**	1.000	.141
		Sig. (2-tailed)	.068	.003	.	.458
		N	30	30	30	30
	matrice_jeu	Correlation Coefficient	.417*	.333	.141	1.000
		Sig. (2-tailed)	.022	.072	.458	.
		N	30	30	30	30

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tableau 20

Correlations

			matrice_T_2	code_T_2	mémoire_T_2	code_jeu
Spearman's rho	matrice_T_2	Correlation Coefficient	1.000	.444*	.173	.396*
		Sig. (2-tailed)	.	.018	.379	.037
		N	28	28	28	28
	code_T_2	Correlation Coefficient	.444*	1.000	.425*	.541**
		Sig. (2-tailed)	.018	.	.024	.003
		N	28	28	28	28
	mémoire_T_2	Correlation Coefficient	.173	.425*	1.000	.419*
		Sig. (2-tailed)	.379	.024	.	.026
		N	28	28	28	28
	code_jeu	Correlation Coefficient	.396*	.541**	.419*	1.000
		Sig. (2-tailed)	.037	.003	.026	.
		N	28	28	28	28

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tableau 22

Correlations

			matrice_T_2	code_T_2	mémoire_T_2	mémoire_jeu
Spearman's rho	matrice_T_2	Correlation Coefficient	1.000	.633**	.167	.107
		Sig. (2-tailed)	.	.001	.436	.618
		N	24	24	24	24
	code_T_2	Correlation Coefficient	.633**	1.000	.385	.337
		Sig. (2-tailed)	.001	.	.063	.107
		N	24	24	24	24
	mémoire_T_2	Correlation Coefficient	.167	.385	1.000	.880**
		Sig. (2-tailed)	.436	.063	.	.000
		N	24	24	24	24
	mémoire_jeu	Correlation Coefficient	.107	.337	.880**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.618	.107	.000	.
		N	24	24	24	24

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).