

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** : **HASSAINE Nassim**

**Sujet**

**Etude de la motricité fine par des jeux sérieux sur tablette**

Soutenu, le **27 / 06 / 2018**, devant le jury composé de :

Président	MCB	BAHRI Sidi Mohammed	Université- Tlemcen
Promoteur	MCA	HOUMANI Nesma	Télécom SudParis – France
Co-Promoteur	MCB	BOUACHA Abdelhafid	Université – Tlemcen
Examinatrice	MCB	BENMASSOUR Fatima Zohra	Université – Tlemcen
	MCB	DERRAZ Fouad	Université – Tlemcen

## *Remerciements*

*Ce mémoire a été effectué dans le laboratoire SAMOVAR – UMR 51 57 dans l'équipe ARMEDIA à Telecom SudParis, sous la direction de Mme Nesma HOUMANI, Maître de Conférences à Telecom SudParis*

*En préambule à ce travail de Mémoire,*

*Je tiens à remercier sincèrement ma directrice de thèse de Master Madame Nesma HOUMANI pour m'avoir accueilli dans son équipe et de m'avoir fait confiance en m'attribuant ce sujet.*

*Madame, vos conseils éclairants, votre souci du détail, votre soutien attentif et votre acuité intellectuelle m'ont été d'un apport inestimable.*

*Tous mes remerciements et mon respect vont vers vous pour votre encadrement constant et consciencieux. Je n'oublierai pas la grande disponibilité et la gentillesse dont vous avez toujours fait preuve à mon égard.*

*Mes sincères remerciements vont également à Monsieur Abdelhafid BOUACHA, Maître de Conférences, enseignant chercheur au laboratoire Télécommunication Tlemcen - Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être co-Encadreur. Je vous remercie de la confiance que vous avez bien voulu me témoigner et je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mon plus profond respect.*

*J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur Sidi Mohammed BAHRI, Maître de Conférences au département de Télécommunication de l'université Aboubekr Belkaid – Tlemcen d'avoir accepté d'être président de ce jury de mémoire.*

*A Madame BENMANSSOUR Fatima Zohra, maître de Conférences au département de Télécommunication, Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen. Je vous remercie de votre bienveillance ainsi que l'intérêt que vous avez bien voulu témoigner pour ce travail. Veuillez trouver dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et tous mes remerciements.*

*A Monsieur DERRAZ Fouad , maître de Conférence au département de Télécommunication , Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen.*

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury, d'évaluer et d'enrichir ce travail. Je vous exprime mon profond respect et ma gratitude.*

*Je remercie également et sincèrement Monsieur Badr-Eddine BENKELFAT, directeur du département Electronique et Physique de Telecom SudParis, de m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce travail au sein de son département. Monsieur, je ne cesserai jamais de vous exprimer ma profonde gratitude, mon respect et ma vive reconnaissance.*

*Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent aux assistantes du département Electronique et Physique de Télécom SudParis: Ydalia GARCIA et Patricia FIXOT.*

*Enfin, je remercie vivement tous les responsables et enseignants du département de Télécommunication de l'Université Aboubekr Belkaid et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *DEDICACES*

*Je dédie ce mémoire*

*A mon père,*

*Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement et tes sacrifices. Tu as rempli ton devoir envers nous, tu m'as toujours guidé et soutenu. Pour ton amour et tes encouragements que dieu te garde pour nous et te procure santé, bonheur et joie.*

*A ma mère,*

*Tous les mots ne suffisent pas pour exprimer tout l'amour que j'ai pour toi. Tu as toujours été présente pour moi, tu m'as toujours guidé et soutenu et encouragé. Que dieu te protège et te procure santé et bonheur.*

*A mon frère Malik*

*Avec tout mon amour pour toi mon petit frère, grand nageur, tu es le meilleur et je suis chanceux de t'avoir. Je te souhaite tout ce qu'il y a de meilleur et surtout beaucoup de médailles.*

*A Mohammed*

*Merci d'avoir été toujours là pour moi comme un grand frère.*

*Restons unis et solidaires*

*A mes Grands Parents*

*Vous m'avez toujours fait preuve d'amour et d'affection. Que dieu vous garde parmi nous et vous procure santé et bonheur.*

*Je vous aime tant.*

*A tous les membres de ma famille, petits et grands, pour leur encouragement et leur soutien moral.*

*A tous mes ami(e)s en témoignage des moments inoubliables, des sentiments purs et des liens qui nous unissent. Que Ilyes, Taha, Majd, Chihab, Sofiane, Karim, Walid, Yassine, Nazim, Elhadi, Riza, Aness, Oussama , Yasmine soient particulièrement remerciés.*

*A la mémoire de mon Oncle Rachid Hassaine qui a toujours cru en moi, ainsi qu'à ma regrettée grand-mère*

*Rabi Yarhamkoum*

# Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	2
I. Introduction.....	8
I.1. Contexte général .....	8
I.2. Objectifs.....	8
II. L’homme, un système sensorimoteur.....	9
II.1. Système moteur .....	9
II.2. Motricité globale et motricité fine .....	10
III. Etat de l’art.....	13
III.1. motricité fine pour la détection de troubles ou pathologies .....	13
III.2. Le jeu sérieux.....	14
IV. Matériel et méthodes.....	16
IV.1. Plateforme numérique .....	16
IV.2. Le jeu .....	16
IV.3. Sauvegarde des données .....	17
IV.4. Base de données acquises.....	17
IV.5. Environnement de développement .....	18
IV.6. Mesure de corrélation de dimension.....	19
a- Notion de dimension fractale .....	19
b- Dimension de Bouligand .....	20
c- Dimension de corrélation .....	21
V. Tests et résultats .....	21
VI. Conclusions et perspectives .....	25

# **I. Introduction**

## **I.1. Contexte général**

Ce stage s'intéresse à la motricité fine de la main, considérée comme un important marqueur du bon développement des enfants et de la bonne santé des individus.

Axée sur la précision et l'habileté du geste, les bases de la motricité fine s'acquièrent dès la naissance par la découverte des nourrissons de leur environnement, et devient avec les années un pré-requis pour les apprentissages scolaires. La motricité fine est aussi un bon marqueur du maintien des facultés motrices et cognitives chez les adultes, les seniors en particulier. Avec l'âge, la dextérité manuelle diminue, ce qui est parfois dû à une pathologie naissante, comme la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer, les accidents vasculaires cérébraux ou l'arthrite. Les personnes âgées peuvent maintenir leurs fonctions motrices par la pratique régulière d'activités nécessitant le contrôle moteur fin de la main. En apportant des changements simples dans leur quotidien, les personnes âgées peuvent aider à prévenir les maladies neuro-dégénératives et à gérer toute fragilité ultérieure.

Aujourd'hui avec la démocratisation des plateformes numériques, beaucoup d'applications de jeux sont disponibles gratuitement sur ces plateformes. On remarque d'ailleurs une pression commerciale énorme sur le consommateur. Or ces jeux sont informels et ne reposent pas sur des études scientifiques qui valident leur pertinence ou leur impact sur la santé.

Ce stage a pour but d'exploiter la tablette pour suivre la motricité fine de la main chez les individus, à travers un jeu sérieux. Ainsi, nous avons exploité un jeu développé à Telecom SudParis, pour saisir et suivre le geste de la main.

## **I.2. Objectif**

Le jeu étant en phase de développement, nous nous sommes intéressés uniquement à la personne saine afin d'évaluer la motricité fine à travers les âges.

Ce travail de recherche est nouveau ; nous n'avons pas trouvé de travaux équivalents dans l'état de l'art. En effet, la littérature manque terriblement de travaux scientifiques dans le domaine de jeux sérieux. Ainsi, ce stage avait pour objectifs :

- Exploitation du jeu développé à Télécom SudParis.
- Organisation d'une base de données acquises sur des individus de différents âges.
- Evaluation de la pertinence de la solution proposée dans son intégralité : sa simplicité d'utilisation, son attractivité vis-à-vis du public concerné, et son impact comportemental (stress, addiction, excitation, énervement, ennui).
- Traitement des données acquises pour quantifier la motricité fine par le biais de méthodes de traitement de l'information.
- Evaluation de la pertinence du jeu dans le suivi de la motricité fine via une méthodologie scientifique.

## **II. L'homme, un système sensorimoteur**

Le corps humain est un système automatisé très complexe rodé à la perfection. L'homme dispose en lui de nombreux capteurs et actionneurs lui permettant d'exécuter d'innombrables actions. Un mouvement de la main par exemple est le résultat d'une information capturée, traitée par le cerveau, puis convertie par l'actionneur (muscles et os).

### **II.1. Système moteur**

Le système moteur est formé de l'ensemble de la musculature du corps et des neurones, appelés « motoneurones », qui commandent la contraction des muscles. Son importance est tout à fait considérable. Ainsi que l'a souligné le neurophysiologiste anglais Sherrington en 1924 [1], « bouger les choses représente tout ce que le genre humain peut faire... avec pour seul instrument le muscle, que ce soit chuchoter une syllabe ou abattre une forêt ». Cependant, le système moteur est d'une incroyable complexité : la réalisation des comportements dans un environnement en perpétuel changement nécessite l'action coordonnée de plusieurs muscles parmi les centaines que nous possédons. La commande et le contrôle moteur chez l'homme constituent un processus complexe auquel participent de nombreuses régions anatomiques.

## II.2. Motricité globale et motricité fine

La motricité globale désigne l'ensemble des comportements moteurs qui font appel à plusieurs parties du corps ou à tout le corps [2]. Les spécialistes du développement moteur définissent ces comportements moteurs par « fundamental motor skills ».

Corraze (1987) [3, 4] a défini les comportements comme des actions orientées vers un but et constituées de mouvements et de postures. Ces mouvements sont possibles grâce à une multitude de contractions qui permettent à des points du corps d'aller d'un point de l'espace à un autre. Cet ensemble de contractions ne se fait pas n'importe comment, mais se coordonne de manière précise au niveau spatial et temporel. Tout mouvement demande bien plus que de simples séries de contractions. Il faut saisir et traiter les informations nécessaires dans le milieu, élaborer le projet, organiser et ajuster le mouvement, anticiper le résultat, contrôler l'action motrice... Cela implique donc à la fois les systèmes sensoriels, moteurs et cognitifs [5].

Bolduc, (1997) [6] et Paoletti (1999) [2, 7] qui s'intéressent aux habiletés motrices fondamentales, ont proposé des classifications d'actions différentes, dans lesquelles nous distinguons généralement trois catégories : (i) dans un premier temps, les activités qui regroupent les actions de locomotion telles que la marche, grimper et monter les escaliers, (ii) dans un deuxième temps, on retrouve les actions dites non-locomotrices telles que les changements de posture, les pivots, et les rotations, (iii) en troisième lieu, les activités de manipulation telles que le lancer, la réception, le dribble [2].

La motricité fine, quant à elle, concerne les actions motrices exigeant la précision et faisant appel à la perception et au contrôle musculaire de certaines parties spécifiques du corps, telles que les joues, les lèvres, la bouche, les yeux et les mains [2].

La motricité fine manuelle correspond à l'exécution de gestes précis et coordonnés, comme dessiner, écrire, faire ses lacets, boutonner un vêtement, etc. Elle mobilise essentiellement le poignet, la main et les doigts, et la coordination œil-main. Elle nécessite également un contrôle musculaire des parties du corps

mobilisées. Finalement, la motricité fine diffère de la motricité globale qui concerne la coordination générale des membres sans s'attacher à la dextérité.

### **II.3. Motricité fine chez les enfants**

Le degré d'évolution de la motricité fine de l'enfant dépend de l'apprentissage des mouvements fondamentaux. Au départ, le nourrisson a une motricité globale généralisée à tout le corps. La motricité fine se développe à travers la motricité globale des membres supérieurs [3]. Au cours des premiers mois, l'enfant développe la préhension : la capacité à saisir des objets avec la main. Avant 4 mois, il s'agit d'une préhension de réflexe, qui devient volontaire autour de 5 mois. Les premiers temps, l'enfant se sert d'une seule main, puis des deux mains entre 7 et 9 mois. Avant l'âge de 2 ans, la préhension reste symétrique. La latéralisation s'acquiert généralement entre 2 et 4 ans. Entre 3 et 4 ans, l'activité motrice s'affine pour devenir de plus en plus fine, plus élaborée et plus localisée. L'évolution du développement psychomoteur se fait toujours dans un sens de perfectionnement progressif. Vers 5 à 6 ans, l'enfant peut découper des formes complexes, reproduire des lettres et exécuter des mouvements de plus en plus fins comme faire ses lacets. La motricité fine se développe ensuite tout au long de la vie en apprenant à maîtriser d'autres objets et outils.

Il est important de noter que l'évolution du développement psychomoteur se fait toujours dans un sens de perfectionnement progressif. Ces progrès ne sont pas uniformes et continus. Cette maturation se réalise par des progressions rapides mais également par des stagnations, des arrêts, voire même des régressions puis le développement peut repartir.

Par ailleurs, selon Le Boulch (1984) [8], la motricité fine ne peut se développer isolément [2]. La lenteur et la maladresse apparaissent comme les caractéristiques principales de la déficience intellectuelle et sont au centre des troubles ou difficultés [2]. Dans la littérature, les chercheurs considèrent le développement de la motricité fine en corrélation avec la maturation du système nerveux et l'organisation perceptive.

#### **II.4. Le mouvement libre**

La théorie « dynamique du mouvement » cherche à expliquer l'apparition spontanée de coordinations et leur adaptation aux contraintes de l'environnement [1]. Dans ce stage, on cherche à étudier le mouvement libre de la main, qui diffère de celui mis en œuvre pour l'écriture. En effet, l'écriture découle d'un geste complexe et codifié.

Selon Berstein [1], la sélection des degrés de liberté constitue une part importante du mouvement. Leur réduction limite la charge de contrôle du système nerveux central dans la production de mouvements. Selon les tenants de cette approche, le processus de sélection des degrés de liberté repose sur l'exploitation par le SNC des contraintes spécifiques, de l'auto-organisation et du couplage entre les différents éléments du système à tous les niveaux d'organisation [1].

Nous nous sommes intéressés dans notre recherche au mouvement libre car il est accessible et compréhensible par tous les individus. De plus, il contribue au développement du programme moteur fin via la répétition d'exercices simples, jusqu'à la mise en place d'un automatisme sur lequel se reposent des apprentissages ultérieurs.

#### **II.5. Préhension et canaux visuo-moteurs**

La coordination œil-main est une fonction très importante pour le bon développement de la motricité fine. En effet, pour un bon contrôle moteur, le système moteur a d'abord besoin de prendre une information sur la situation et sur la tâche à résoudre. Dans la majeure partie des cas, cette prise d'information se fait par la vision et permet de repérer toutes les caractéristiques de l'objet à saisir : forme, taille, position, orientation, etc. Ces caractéristiques ont été classées par Jeannerod [9, 10] en deux types [11] : les caractéristiques extrinsèques (position, orientation, vitesse par exemple) et les caractéristiques intrinsèques (taille et forme par exemple) [11].

Dans la littérature, il est cité que des mécanismes cérébraux différents sont impliqués dans la perception de ces deux caractéristiques [11]. De nombreux travaux, ont cherché à vérifier s'il existait bien des canaux distincts de perception-action [11] : modèle connu sous le terme de canaux visuo-moteur parallèles (parallel visuomotor channels). Ce modèle implique que des actions complexes telles qu'un mouvement d'atteinte-saisie d'objet puisse être divisé en différentes unités,

contrôlées en parallèle, à savoir le transport du bras, l'orientation de la main et la saisie.

Par ailleurs, il semblerait que les caractéristiques de l'objet (intrinsèques ou extrinsèques) aient un effet sur la préhension de l'objet. Plus précisément, les caractéristiques intrinsèques de l'objet auraient un effet sur la saisie tandis que les caractéristiques extrinsèques influenceraient la « phase d'atteinte » sans affecter la saisie [1]. Des études plus récentes montrent que ces deux composantes du mouvement sont interdépendantes et que le couplage temporel entre-elles n'est pas si rigide. De plus, il semblerait que la phase de transport ne soit pas uniquement influencée par les caractères extrinsèques de l'objet [11] et que plus globalement, la phase de transport et d'orientation de la main n'appartiennent pas à des canaux visuo-moteurs indépendants [11].

### **III. Etat de l'art**

Au début de notre étude, la question qui s'est posée : Qu'est-ce qui a été fait sur plateforme numérique pour la détection d'un déclin ou pour la réhabilitation des personnes fragiles?

#### **III.1. motricité fine pour la détection de troubles ou pathologies**

Dès le début des années 2000, des études reliant les nouvelles technologies et le domaine médical ont commencé à voir le jour. Les scientifiques et les chercheurs se sont intéressés à comment améliorer les diagnostics pour la détection précoce de certaines maladies neurodégénératives qui touchent de plus en plus de personnes âgées, comme la maladie d'Alzheimer et Parkinson [12]. Les approches de diagnostic précoce des maladies ont fait des progrès significatifs notamment grâce au développement de biomarqueurs cliniques fiables.

La littérature fait référence à de nombreuses études traitant la motricité fine de la main, en particulier à travers l'écriture pour le diagnostic de maladie neurodégénérative [12]. L'évaluation des fonctions motrices dans le contexte de ces maladies est devenue de plus en plus intéressante pour trois raisons principales: (i) pour le diagnostic précoce de la maladie, (ii) pour la prédiction de l'évolution de la maladie, (iii) pour la différenciation entre la maladie et d'autres formes de démence

[13]. La plupart de ces travaux se sont focalisés sur une population bien ciblée (personnes âgées d'une tranche d'âge réduite), et se sont basés sur des tests cliniques existants pour avoir plus de précision et de finesse dans l'interprétation des résultats.

D'autres chercheurs ont essayé de trouver la relation entre le système cognitif humain et l'activité motrice réelle grâce à des tablettes graphiques Wacom, munie d'un stylet connecté. Cette étude a démontré que les données collectées par la tablette (coordonnées x et y du stylet, temps, pression exercée par le stylet, angles d'inclinaison du stylet) peuvent être de bons marqueurs et reflètent l'individualité cognitive [14]. La différence entre les tests d'examen clinique (approche clinique) et les tests de cette étude (ingénierie biomédicale) est que dans le premier cas on évalue le résultat final des tests, alors que dans le deuxième cas, on évalue ce qui se passe pendant les tests et ce de manière objective à travers des mesures.

Par ailleurs, les acquisitions des données se sont faites le plus souvent dans des environnements cliniques, sous des conditions strictes et contrôlées, pour avoir la concentration maximale du patient et ne pas biaiser les résultats. Les données d'écriture prélevées sont traitées par des méthodes statistiques complexes qui analysent les données séparément et point par point (traitement local du signal). Les résultats des études démontrent que les paramètres cinématiques d'écriture sont liés à l'état cognitif chez les patients âgés : les patients atteints de troubles cognitifs légers (MCI, Mild Cognitive Impairment) et les patients atteints de la maladie d'Alzheimer présentaient une perte de performance de leur motricité fine [12].

Les tablettes tactiles étant récentes, et de plus en plus performantes et accessibles au grand public, ont ouvert un champ de possibilités plus élargi pour les scientifiques et les développeurs. On retrouve dans la littérature quelques nouvelles études impliquant les tablettes tactiles à des fins d'aide aux personnes à déficience intellectuelle, cognitive ou motrice pour développer ou rééduquer leur motricité fine par des jeux sérieux [15].

### **III.2. Le jeu sérieux**

L'avènement du « *serious game* » (en français, jeu sérieux) se situe entre 2001 et 2002, notamment avec l'arrivée d'un jeu développé pour l'armée américaine, « *America's Army* », qui simule des exercices d'entraînements. Les meilleurs joueurs

recevaient une proposition d'intégration dans l'armée. Cependant, de manière quasi concomitante, Marc Prensky, à qui l'on attribue la paternité du terme de « *digital natives* », popularisa l'appellation « *serious game* » en l'appliquant au monde éducatif [16].

Parmi les définitions qui existent, la plus explicite est donnée par Alvarez [16] qui indique que : « la vocation d'un serious game est d'inviter l'utilisateur à interagir avec une application informatique dont l'intention est de combiner à la fois des aspects d'enseignement, d'apprentissage, d'entraînement, de communication ou d'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo » [16]

D'après le CEMRIMES (Centre de ressources et d'informations sur le multimédia pour l'enseignement supérieur), le jeu sérieux est un véritable outil de formation, de communication, et de simulation. En quelque sorte, le jeu sérieux est une déclinaison utile du jeu vidéo au service des professionnels.

Les jeux sérieux sont des applications développées à partir de technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements...), mais qui dépassent la seule dimension du divertissement [16]. Finalement, ce qui distingue le « jeu sérieux » du « jeu vidéo » classique ou du jeu en général semble être la finalité même du jeu : compréhension, information, apprentissage, éducation, amélioration des compétences d'un côté ; plaisir et divertissement de l'autre côté.

Après avoir fait le tour de la littérature, nous avons constaté qu'il n'existe pas de jeu sérieux en lien avec notre travail dans ce stage.

## **IV. Matériel et méthodes**

### **IV.1. Plateforme numérique**

Les tablettes numériques ont l'avantage d'être des outils mobiles et facilement maniables. Leur taille varie selon les dimensions de l'écran. Le format 10 pouces est le plus adapté pour notre étude car il permet une vision confortable à bonne distance, une manipulation adaptée et la possibilité d'un partage à deux de la vision de l'écran.

Les formats plus petits gagnent en portabilité mais s'exposent à des manipulations plus rapides, donc à des chocs, et limitent les tablettes à une utilisation strictement individuelle, peu adaptée à une utilisation avec des professionnels et au partage avec les parents.

L'espace écran des tablettes est conçu pour une perception visuelle rapide de l'ensemble des objets graphiques, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer une longue exploration oculaire. Conçus au départ pour le confort visuel et l'ergonomie logicielle de tout et un chacun, les écrans des tablettes se sont ainsi révélés, par l'usage, remarquablement adaptés aux possibilités de traitement visuel des personnes [17]. Pour ces raisons, ce travail repose sur une tablette de dimension 169 x 237.3 x 6 mm avec un poids de 429 g et une définition de 2048 x 1536 pixels.

### **IV.2. Le jeu**

Notre étude exploite un jeu sérieux, développé sur la tablette, pour capturer les mouvements de la main. Le jeu a l'avantage d'être ludique, autant pour les enfants que pour les adultes. De plus, le jeu peut exiger de la réflexion et fait appel à plusieurs capacités cognitives.

Sur l'aspect technique, le jeu a été développé en 3D et propose différents niveaux de difficulté. Les mêmes parties de jeu sont proposées à chaque utilisateur.

La consigne qui était donnée aux utilisateurs est de faire avancer un objet vers une direction précise. L'utilisateur avait la possibilité de réfléchir avant d'entamer le jeu.

### IV.3. Sauvegarde des données

A la création d'un nouveau profil, associé à un nouvel utilisateur, l'application crée un répertoire au nom de l'utilisateur, et contient des dossiers associés aux niveaux joués.

Au début de chaque partie, le jeu commence à sauvegarder le temps et la position sur la tablette. A la fin de la partie, les données sont enregistrées dans un fichier à extension « TXT », dont le nom correspond au numéro de la partie (Figure1). Les fichiers sont enregistrés dans le dossier correspondant au niveau de difficulté joué.

	X	X_	Y	Y_
4				
5	137	130	324	312
6	137	128	324	317
7	130	128	318	317
8	129	128	317	318
9	128	127	318	318
10	127	125	318	317
11	126	123	317	315
12	126	120	317	313
13	121	119	314	312
14	119	118	312	310
15	118	116	310	308
16	116	116	308	306
17	116	115	307	305
18	116	115	307	305
19	115	115	305	304
20	115	117	304	304
21	116	119	304	302

Figure 1: Aperçu des fichiers de données enregistrées sur la tablette

### IV.4. Base de données acquises

La première étape de ce travail consistait à faire tester le jeu par différentes personnes en vue de créer une base de données.

Nous avons pu rassembler des populations variées par l'âge, l'origine et le niveau social. La distribution de ces différentes populations est illustrée dans la Figure 2.

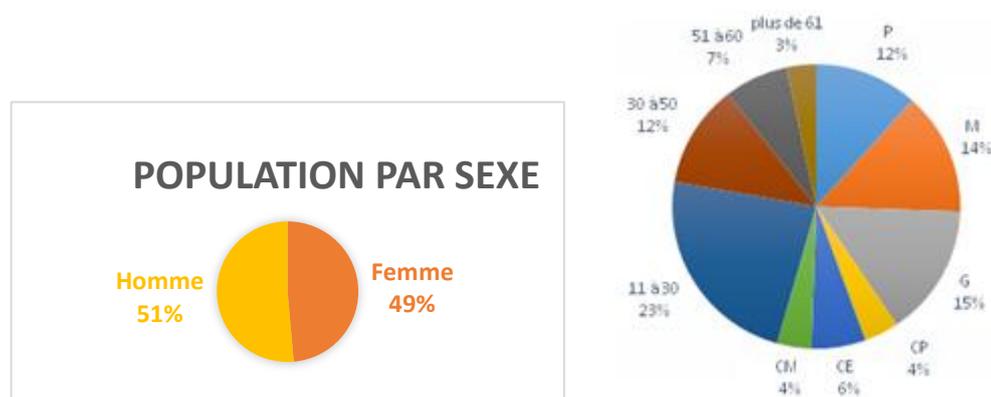


Figure 2 : Distribution des populations dans la base de données recueillie

Pour ne pas biaiser les résultats, nous avons déterminé les conditions d'acquisition suivantes:

- Le jeu doit se faire en position assise.
- La personne peut régler sa chaise afin qu'elle soit confortablement assise.
- L'environnement doit être calme et non stressant.
- Avant de commencer le jeu, on explique à la personne en détails en quoi consiste le jeu ainsi que son objectif.
- Les métadonnées : âge, sexe, et signes particuliers, sont notées dans un fichier Excel (voir Tableau 1).

**Tableau 1 : Métadonnées enregistrées dans le fichier Excel**

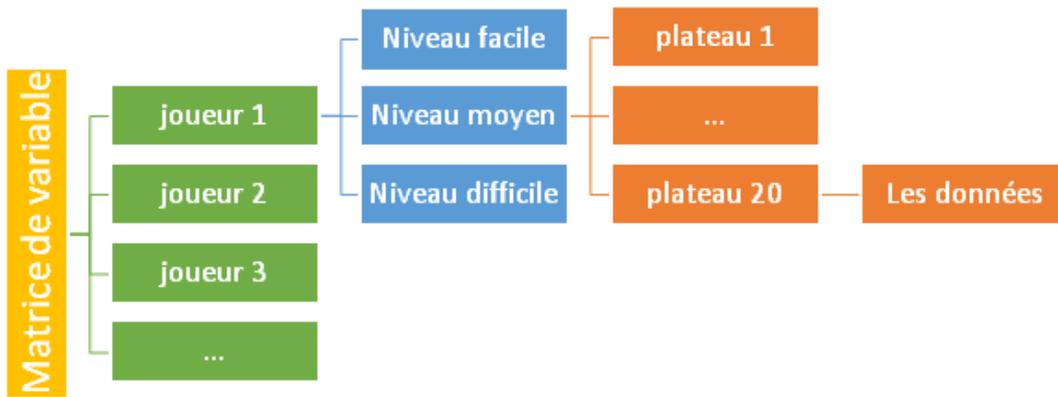
<b>N°</b>	<b>NOM</b>	<b>Age</b>	<b>Sexe</b>	<b>Main</b>	<b>Parties</b>
1	Nassim	23	M	Droite	20

#### **IV.5. Environnement de développement**

Le traitement de données s'est fait avec MATLAB, qui est un langage de programmation de 4ème génération, émulé par un environnement de développement du même nom. Il est utilisé à des fins de calculs numériques. Développé par la société « The MathWorks », MATLAB permet de manipuler des données en forme de matrices, d'afficher des courbes, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Une interface en ligne de commande, qui est un des éléments du bureau MATLAB, permet d'exécuter des commandes simples. Des séquences de commandes peuvent être sauvegardées dans un fichier texte, typiquement avec l'éditeur MATLAB, sous la forme d'un « script » ou encapsulées dans une fonction.

Ainsi, nous avons d'abord chargé sous Matlab les données capturées et les avons mises dans une matrice « C.mat ». A partir de cette matrice, nous avons extrait d'autres paramètres, comme le temps de jeu et la vitesse absolue.

Tous les paramètres extraits ont été enregistrés dans des matrices spécifiques qui suivent toutes le schéma reporté en Figure 3.



**Figure 3 : Structure des matrices sauvegardées sous Matlab**

Au final, on obtient 4 matrices :

- **C.mat** : contient les données capturées.
- **V.mat** : contient les valeurs de vitesse.
- **TJ.mat** : contient les temps de jeu.
- **MTJ.mat** : contient les moyennes des temps de jeu.

#### **IV.6. Mesure de corrélation de dimension**

Dans ce stage, nous avons caractérisé le mouvement de la main par une mesure de complexité.

Pour quantifier la complexité, nous avons exploité une mesure fractale, dénommée « dimension de corrélation » [18-21]. La dimension de corrélation a été principalement utilisée dans la littérature pour mesurer la complexité des systèmes dynamiques non-linéaires. Un signal qui présente une grande complexité a une valeur de dimension de corrélation élevée. Dans le cas d'une série temporelle  $(X_1, \dots, X_N)$ , la dimension de corrélation mesure la dimension de l'espace occupé par l'ensemble des variables aléatoires  $X$ .

##### **a- Notion de dimension fractale**

Une fractale est un objet mathématique qui se caractérise par son autosimilarité, c.à.d. qu'un changement d'échelle ne change pas l'aspect de l'objet. Autrement dit, même en zoomant indéfiniment, on retrouve l'objet entier, une partie est semblable au tout.

La dimension fractale mesure le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un ensemble géométrique mathématique [18, 19]. Contrairement à la dimension topologique appelée encore dimension de recouvrement de Lebesgue (qui est de 1 pour une droite, de 2 pour un plan et de 3 pour un volume), la dimension fractale prend souvent une valeur non entière. Elle est appelée parfois dimension fractionnaire [20]. La dimension fractale d'un objet est toujours supérieure ou égale à sa dimension topologique. Un réseau linéaire planimétrique a une dimension fractale comprise entre 1 et 2. Plus sa dimension est proche de 2, plus le réseau remplit l'espace plan.

On parle souvent de la dimension fractale comme d'une valeur unique attribuée à un objet. Or il existe plusieurs dimensions fractales, qui ne fournissent pas des valeurs identiques. On fait référence alors à des dimensions fractales d'un objet. Nous en présentons dans la suite certaines qui sont en relation avec notre travail.

### **b- Dimension de Bouligand**

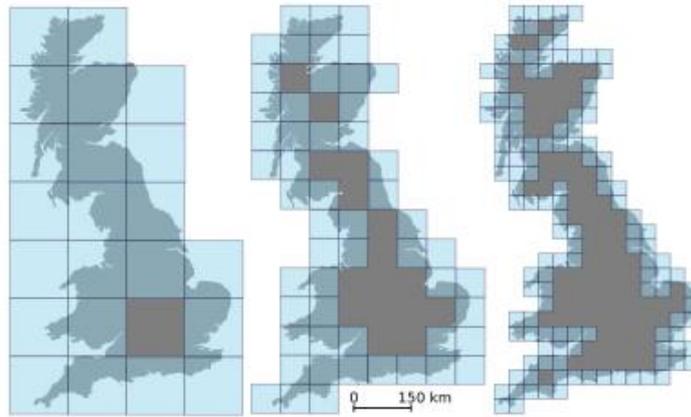
Citons l'exemple connu de la côte de la Grande Bretagne, pour laquelle on veut calculer sa dimension fractale, sachant qu'elle ne présente pas de similitude interne (Figure 4). L'idée est de recouvrir cet objet par une maille carrée de plus en plus fine et de ne compter que les carrés qui recouvrent l'objet.

On recouvre l'île par une maille carrée dont les côtés sont de plus en plus petits (Figure 4). On considère que l'objet est localement à similitude interne : si les carrés sont de côtés  $\varepsilon$  alors c'est en appliquant un agrandissement de  $1/\varepsilon$  qu'on obtient le carré de longueur 1 et on peut estimer que chacun de ces petits carrés est une miniature d'un carré de côté 1. Si on note  $N_\varepsilon$  le nombre de carrés nécessaires (N répliques) au recouvrement de la côte, sa dimension fractale sera pour  $\varepsilon$  assez petit :

$$d \approx \frac{\ln(N_\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)} \quad (1)$$

Plus formellement, on obtiendra la dimension fractale en faisant tendre  $\varepsilon$  vers zéro. On obtient ce qu'on appelle en anglais « box-counting » d'un objet fractal.

$$d \approx \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)} \quad (2)$$



**Figure 4: On compte le nombre  $N_\varepsilon$  de carrés de côtés  $\varepsilon$  nécessaires au recouvrement de la côte. Pour  $\varepsilon$  assez petit, la dimension fractale est  $\frac{\ln(N_\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}$**

### c- Dimension de corrélation

Pour rendre plus robuste le calcul de la dimension box-counting, Grassberger et Procaccia (1983) [21] ont popularisé une autre dimension empirique appelée « dimension de corrélation » (DC). Le calcul de cette dimension s'effectue sur des points  $(X_1, \dots, X_N)$  constitutifs de la fractale considérée. Pour un rayon  $\varepsilon$  choisi « suffisamment » petit, on détermine  $P(\varepsilon)$  qui est la proportion de couples  $(X_i, X_j)$  issus de  $(X_1, \dots, X_N)$  dont l'interdistance est inférieure à  $\varepsilon$  (il y a en tout  $n(n-1)/2$  couples  $(i, j)$  tels que  $(1 \leq i < j \leq n)$ ). On effectue ce calcul pour plusieurs valeurs  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$  choisies suffisamment petites, puis tout comme pour la dimension box-counting, on réalise une régression des  $\text{Log } P(\varepsilon_i)$  par  $\text{Log } (\varepsilon_i)$ . La pente de la droite de régression est la dimension de corrélation DC.

$$D_c = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( - \frac{\text{Log } P(\varepsilon)}{\text{Log } \varepsilon} \right) \quad (3)$$

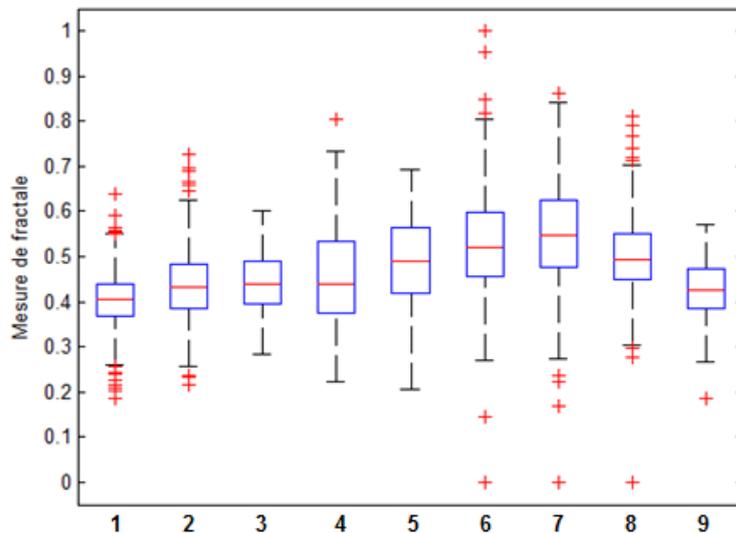
où  $P(\varepsilon)$  est la proportion de couples de points dont l'interdistance est inférieure à  $\varepsilon$  parmi tous les couples de points de la fractale.

## V. Tests et résultats

Pour notre étude préliminaire, nous avons analysé les données de 180 personnes de différents âges. Nous avons calculé pour toutes ces personnes

différentes mesures : la corrélation de dimension, le temps de jeux moyen et la vitesse moyenne.

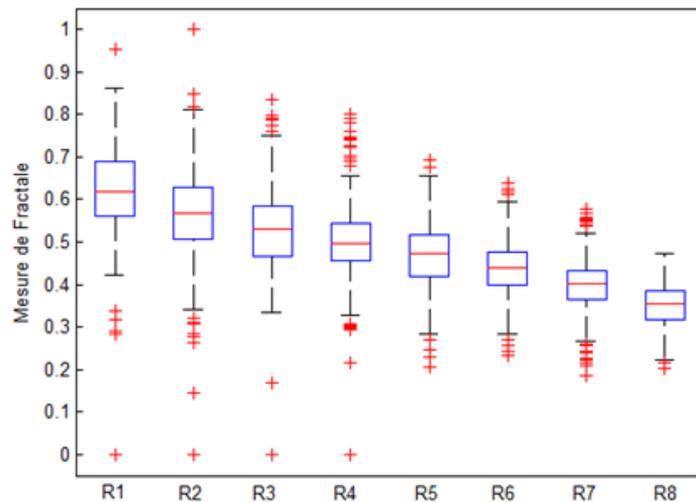
Nous avons quantifié par la mesure fractale, la complexité du geste chez des individus classés en 9 tranches d'âge (voir Figure 5).



**Figure 5: Evolution de la mesure en fonction des 9 tranches d'âges**

On remarque une augmentation de la complexité du geste jusqu'à la tranche d'âge 7 (personnes à 50 ans), puis une inversion de la courbe à partir de 51 ans (tranche d'âge 8). Cela montre que la complexité du geste augmente avec l'âge puis se simplifie à partir de 51 ans.

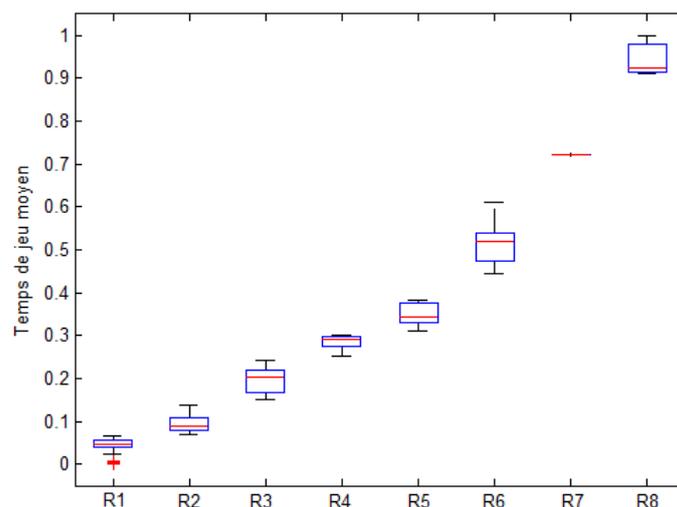
Dans la suite, nous avons généré 8 catégories de personnes et avons analysé la distribution des individus dans chacune de ces catégories en termes de leur complexité. La Figure 6 montre la distribution de la mesure fractale sur les 8 niveaux: du niveau R1 (forte complexité) au niveau R8 (faible complexité). Nous avons observé que dans chacune des catégories, il peut y avoir des individus avec différents âges ; cela montre bien que l'évolution progressive de la motricité diffère d'une personne à une autre (forte variabilité entre les personnes). La progression motrice dépend de chaque personne.



**Figure 6: Evolution de la mesure sur les niveaux générés**

La Figure 7 montre la distribution du temps de jeu moyen sur les 8 niveaux générés: du niveau R1 (temps de jeu court) au niveau R8 (temps de jeu lent).

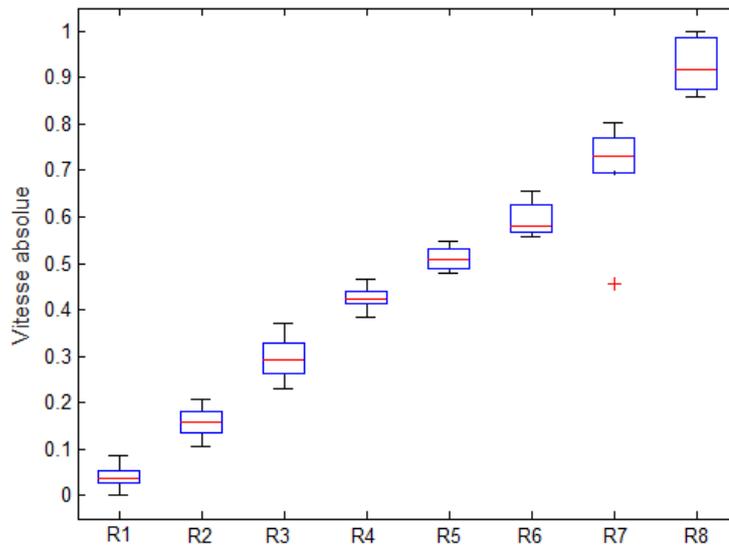
Nous avons aussi évalué la pente de la courbe d'évolution de du temps de jeu sur les différents niveaux générés ; nous avons trouvé une pente de  $p=0.1227$  en se basant sur les valeurs de la médiane. Cette pente est deux fois plus importante que celle avec la mesure de complexité. Ainsi, le temps de jeu est plus discriminant entre les personnes comparé à la mesure de corrélation de dimension.



**Figure 7: Evolution du temps de jeu moyen en chaque niveau généré (R1 : temps de jeu court à R8 : temps de jeu lent).**

La Figure 8 montre la distribution de la vitesse absolue sur les 8 niveaux générés: du niveau R1 (geste très lent) au niveau R8 (geste très rapide).

Nous avons aussi évalué la pente de la courbe d'évolution de du temps de jeu sur les différents niveaux générés ; nous avons trouvé une pente de  $p=0.118$  en se basant sur les valeurs de la médiane. Cette pente est plus importante que celle avec la mesure de complexité. La vitesse de jeu est un marqueur discriminant.



**Figure 8: Evolution de la vitesse absolue en chaque niveau généré (R1 : geste lent à R8 : geste très rapide).**

Les résultats montrent que l'utilisation des 3 mesures (corrélation de dimension, le temps de jeux moyen et la vitesse moyenne) permet d'extraire des marqueurs décrivant les performances du joueur ainsi que son comportement lors du jeu. Les résultats montrent que le temps de jeux ainsi que la vitesse du mouvement lors du jeu restent des paramètres très importants pour suivre la motricité fine des individus à travers les âges.

## **VI. Conclusions et perspectives**

Lors des acquisitions de notre base de données, nous avons relevé plusieurs points sur les caractéristiques des joueurs, comme le port de lunettes, la main dominante (gaucher ou droitier) et autres signes particuliers (état de santé général). Lors des acquisitions, une question était régulièrement soulevée par la majorité des participants est de savoir s'il ya plusieurs solutions possibles au jeu.

Néanmoins, on estime que la remarque la plus pertinente est que les personnes droitères ont du mal à faire le jeu. Cela est dû essentiellement à l'emplacement de l'objectif qui se trouve toujours dans un coin, ce qui implique souvent des arrêts involontaires par manque de visibilité. Toutes ces remarques sont en prendre en considération pour d'éventuelles améliorations du jeu.

Ce stage est une étude préliminaire dont le but est d'évaluer la faisabilité du suivi de la motricité fine chez les individus, à travers un jeu sérieux numérisé.

Pour l'analyse des différents mouvements effectués par les joueurs, nous avons caractérisé le geste par sa complexité via une mesure fractale, appelée « corrélation de dimension », par le temps de jeu et la vitesse mise en œuvre lors du jeu. Nous avons trouvé que ces marqueurs permettaient de suivre le mouvement des personnes suivant leur âge et de tenir compte des spécificités de chaque personne.

Si ce travail de mémoire arrive à son terme, la réflexion et le questionnement n'en sont pour nous qu'à leurs débuts, puisque cette étude n'est qu'un travail préliminaire à d'éventuels travaux plus approfondis sur le sujet.

Ce travail pourrait être complété par l'étude sur des personnes présentant des troubles cognitifs, par l'application d'autres méthodes de traitement de l'information et l'ajout d'autres modalités, tels que l'utilisation d'un oculomètre pour suivre le regard des joueurs et affiner les résultats.

## **Résumé**

L'homme dispose en lui de nombreux capteurs et actionneurs lui permettant d'exécuter d'innombrables actions. Un mouvement de la main par exemple est le résultat d'une information capturée par l'œil, traitée par le cerveau, puis convertie par l'actionneur. Tout cet ensemble est contrôlé par un système moteur d'une incroyable complexité.

L'analyse de la motricité fine de la main à travers l'écriture a été très exploitée dans la littérature pour le diagnostic de maladies neuro-dégénératives. Cependant, l'écriture est un geste complexe très codifié qui reste difficile à exploiter pour la détection de certaines pathologies.

Ce stage s'intéresse à l'analyse de la motricité fine de la main, en fonction de l'âge, par le mouvement de la main en exploitant un jeu sérieux numérisé.

Notre objectif est d'évaluer la pertinence du jeu sérieux pour le suivi de la motricité fine chez des individus d'âges différents. Pour cette évaluation, nous avons appliqué une méthode d'analyse de données mathématique (corrélation de dimension) associée à une technique de classification non-supervisée.

Les résultats préliminaires ouvrent des perspectives dans l'exploitation et l'explication du comportement de la motricité fine de la main et du comportement cognitif.

Mots clés : motricité fine, jeu sérieux, tablette numérique.

## **Abstract**

Man has many sensors and actuators in him to perform countless actions. A movement of the hand for example is the result of information captured by the eye, processed by the brain, and then converted by the actuator. All this set is controlled by an engine system of incredible complexity. The analysis of the fine motor skills of the hand through handwriting has been widely studied in the literature for the diagnosis of neurodegenerative diseases. However, handwriting is a highly codified and complex gesture that remains difficult to exploit for the early detection of some pathologies.

This internship is focused on the analysis of the fine motor skills of the hand, according to age based on hand movements, by exploiting a serious game implemented on a digitizing tablet.

Our objective is to evaluate the validity of "serious games" to monitor fine motor skills in individuals of different ages. For this evaluation, we applied data analysis methods inherited from chaos theory, associated to an unsupervised clustering technique.

Preliminary results open up perspectives in the exploitation and explanation of the behavior of fine motor skills and cognitive behavior.

Key words: fine motor skills, serious game, digitizing tablet.

## REFERENCES

- [1] C. Darmon. Réactivité visuo-manuelle, Contrôle du geste et Expertise sensorimotrice: étude en IRM fonctionnelle événementielle. Neurosciences [qbio.NC]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2006. Français.
- [2] J. Beaulieu. Comparaison du développement psychomoteur d'enfants âgés entre 3 et 4 ans fréquentant ou non une garderie ayant un programme d'éducation psychomotrice. Mémoire de la maîtrise en sciences de l'activité physique. Université du Québec, 2000.
- [3] M. Vincent. Exemple de prise en charge de la motricité globale basée sur l'entraînement d'étapes du développement moteur. Mémoire du Diplôme d'État de Psychomotricien. Faculté de médecine-Toulouse Rangueil. Université Paul Sabatier, 2012.
- [4] J. Corraze. La neuropsychologie du mouvement. Paris : Masson, 1987.
- [5] S. Ouanezar. Contrôle moteur par le cervelet et interface cerveau-machine pour commander un doigt robotique. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure des Télécommunication. Télécom ParisTech, 2010.
- [6] R. Bolduc. Psychomotricité et pédagogie. Montréal: Éditions Logiques, 1997.
- [7] R. Paoletti. Éducation et motricité de l'enfant de deux à huit ans. Montréal: Gaëtan Morin, 1999.
- [8] J. Le Boulch. Le développement psychomoteur de la naissance à 6 ans. Paris: Les éditions ESF, 1984.
- [9] M. Jeannerod. Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. *Attention and Performance IX*, 153–168, 1981.
- [10] M. Jeannerod. The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior* 16:235–254, 1984.
- [11] J. Lardy. Analyse et simulation cinématique du mouvement du bras lors de la manipulation d'un objet pour la simulation ergonomique à l'aide d'un mannequin numérique. Biomécanique [physics. medph]. Université Claude Bernard - Lyon I, 2013.
- [12] J. Garre-Olmo, K. Lopez-de-Ipiña, M. Faundez-Zanuy, O. Turró-Garriga. Kinematic and Pressure Features of Handwriting and Drawing: Preliminary Results between Patients with Mild Cognitive Impairment, Alzheimer Disease and Healthy Controls. *Current Alzheimer research* 14: 999, 2016.
- [13] A. Schröter, R. Mergl, K. Bürger, H. Hampel, H.J. Möller, U. Hegerl. Kinematic Analysis of Handwriting Movements in Patients with Alzheimer's Disease, Mild Cognitive Impairment, Depression and Healthy Subjects. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* 15(3):132-142, 2003.

- [14] G. Luria, A. Kahana, S. Rosenblum. Detection of Deception Via Handwriting Behaviors Using a Computerized Tool: Toward an Evaluation of Malingering, *cognitive computation*, 6(4): 849 – 855, 2014
- [15] J.F. Susini, O. Pons, N. Guedin, C. Thevenot. Danse-doigts, jeu de motricité fine, <http://www.hemiparesie.org> .2016.
- [16] Ministère de l'Éducation nationale, Direction générale de l'enseignement scolaire (DGESCO) et Direction du numérique pour l'éducation (DNE).
- [17] B. Virole. Autisme et tablettes numériques. Hôpital Robert-Debré Paris France, 2013.
- [18] B. Mandelbrot. Les objets fractals : forme, hasard, et dimension, Paris, Flammarion, 1975.
- [19] B. Mandelbrot. The fractal geometry of nature, Oxford, W.H. Freeman, 1982.
- [20] B. Mandelbrot. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, 156: 636-638, 1967.
- [21] P. Grassberger, I. Proccacia. Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica D*, 189-208, 1983.