



# **Aide à l'écriture pour les enfants vivant avec des incoordinations de mouvements**

**Mémoire**

**Gabrielle Lemire**

**Maîtrise en génie mécanique - avec mémoire**  
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

# **Aide à l'écriture pour les enfants vivant avec des incoordinations de mouvements**

**Mémoire**

**Gabrielle Lemire**

Sous la direction de:

Alexandre Campeau-Lecours, directeur de recherche  
Katia Turcot, codirectrice de recherche

# Résumé

Plusieurs enfants vivant avec des difficultés de coordination et/ou la présence de spasticité musculaire peuvent avoir de la difficulté avec l'écriture manuscrite. Cette activité est cependant reconnue pour favoriser les apprentissages, notamment en soutenant la mémorisation, la reconnaissance de lettres, la lecture, et bien d'autres. L'objectif de ce mémoire est de concevoir une aide technique à l'écriture manuscrite capable d'aider les enfants vivant avec des difficultés motrices à écrire et à dessiner. Le mécanisme vise à stabiliser les mouvements incoordonnés et à maintenir le crayon fixe, tout en visant un concept le plus simple possible afin que le résultat demeure abordable et accessible.

L'hypothèse est que l'utilisation de l'aide à l'écriture développée permettra d'améliorer la capacité des personnes vivant avec des limitations physiques aux membres supérieurs d'écrire et de dessiner de façon autonome. Ceci apportera des avantages majeurs pour l'utilisateur dans sa vie courante en lui permettant, entre autres, d'exprimer ses idées.

Deux versions ont été développées : une première avec des amortisseurs mécaniques de grandeur fixe et une seconde avec la possibilité de modifier la grandeur de l'amortissement produit par les amortisseurs. Les deux versions utilisent un mécanisme qui consiste en un assemblage à deux degrés de liberté de barres. Elles sont assemblées de sorte que l'orientation de la poignée et du crayon sont constantes par rapport à la base en tout temps. Le choix d'amortisseurs limités dans la première version a mené au développement de la seconde version. Celle-ci utilise les mêmes amortisseurs, mais un mécanisme permet de faire varier le niveau d'amortissement en fonction des besoins de l'utilisateur pour couvrir une plus grande plage d'amortissement possible. Il existe deux versions de cet amortissement variable : une avec des amortisseurs angulaires, comme sur la première version du prototype et une avec des vérins linéaires.

# Abstract

Many children living with movement disorders and/or muscular spasticity may have trouble with handwriting. This activity is known to be helpful during the learning phase, mainly by helping memorization, letter recognition, reading and more. The objective of the memoir is to develop a handwriting assistive device that can help children living with movement disorders to write and draw. The mechanism aims to stabilize movement disorders and to maintain the pen in a fixed orientation while having a simple design to have a final product affordable and accessible.

The hypothesis is that the use of the developed mechanism will improve the capacity of people living with physical limitations in the upper limbs to write and draw autonomously. This will bring major advantages for the user in his everyday life as he/she will be able to, among others, express his/her ideas.

Two versions have been developed: a first one with mechanical dampers of a fixed damping value and a second one with the possibility to vary the damping value. The two versions use a mechanism that consists in a bars assembly with two degrees of freedom. They are assembled so that the orientation of the handle and the pen are constant with respect to the base. With limited choice of mechanical dampers for the first version, the second version of the mechanism was developed. It uses the same dampers, but a four-bar mechanism allows the damping value to be change to match the user needs. There are two versions of the variable damping: one with angular dampers as for the first version of the prototype and one with linear cylinders.



# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>vii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>ix</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>x</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Revue des systèmes existants</b>	<b>4</b>
1.1 Problèmes de coordination et d'écriture . . . . .	4
1.2 L'écriture à la main versus à l'ordinateur . . . . .	6
1.3 Aides existantes pour l'écriture et le dessin . . . . .	7
1.4 Spasticité . . . . .	12
1.5 Aides techniques aux membres supérieurs . . . . .	13
1.6 Contrôle des tremblements . . . . .	13
1.7 Compensation des raideurs . . . . .	14
1.8 Autres méthodes de contrôle . . . . .	15
1.9 Évaluation . . . . .	16
1.10 Design mécanique . . . . .	17
1.11 Bibliographie . . . . .	17
<b>2 Preliminary design of a device to assist handwriting in children with movement disorders</b>	<b>24</b>
2.1 Résumé . . . . .	24
2.2 Abstract . . . . .	24
2.3 Introduction . . . . .	25
2.4 Objectives . . . . .	26
2.5 Summary description . . . . .	26
2.6 Mechanism design . . . . .	26
2.7 Pen holder mechanism . . . . .	28
2.8 Discussion . . . . .	29

2.9	Conclusion . . . . .	30
2.10	Bibliographie . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Analyse et optimisation du mécanisme</b>	<b>32</b>
3.1	Choix du mécanisme . . . . .	32
3.2	Caractérisation du mécanisme dans le plan . . . . .	34
3.3	Relation entre les moments à la base et les forces à l'effecteur . . . . .	42
3.4	Amortissement angulaire et amortissement linéaire . . . . .	44
3.5	Mécanisme d'amortissement variable . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Mechanical design of a new device to assist handwriting in people with movement disorders</b>	<b>51</b>
4.1	Résumé . . . . .	51
4.2	Abstract . . . . .	51
4.3	Introduction . . . . .	52
4.4	Objective 1 - Current situation and needs assessment : methods and results	53
4.5	Objective 2 : Development of the HAD . . . . .	54
4.6	Objective 3 : Evaluations . . . . .	60
4.7	Discussion . . . . .	63
4.8	Conclusion . . . . .	64
4.9	Declarations . . . . .	64
4.10	Bibliographie . . . . .	65
	<b>Conclusion</b>	<b>67</b>
<b>A</b>	<b>Amortissement linéaire ressenti</b>	<b>72</b>

# Liste des tableaux

3.1	Table des caractéristiques de chaque combinaison de mécanisme. . . . .	33
-----	--	----

# Liste des figures

1.1	Embout à crayon surdimensionné se glissant sur des crayons de plomb standards. . . . .	8
1.2	PenAgain, crayon en forme de « Y ». . . . .	8
1.3	HandiWriter, support élastique liant le crayon au poignet. . . . .	9
1.4	Ergowriter, support à crayon qui permet de tenir le crayon entre le majeur et l'index et incluant un support pour le pouce. . . . .	9
1.5	Orthèse Wanchik, fixant le crayon sur le mécanisme et s'attachant sur le poignet de l'utilisateur. . . . .	10
1.6	Steady Writing Pen, support à crayon pour le garder à angle par rapport à la feuille. . . . .	10
1.7	Writing Bird, support à crayon en forme d'oiseau pour modifier la prise du crayon. . . . .	10
1.8	Orthèse Blackburn, soutenant le crayon et venant s'attacher à la main, cette orthèse aide les utilisateurs qui ne peuvent pas tenir un crayon. . . . .	11
2.1	Writing assistive device. . . . .	27
2.2	Development of the mechanism. . . . .	28
2.3	Pen holder mechanism. . . . .	29
2.4	Handle on the pen holder mechanism. . . . .	29
3.1	Différence pour le calcul des angles a) en parallèle et b) en série. . . . .	35
3.2	Angles en parallèle des différentes barres en fonction de la position de l'effecteur par rapport à la base. . . . .	36
3.3	Inverse du conditionnement en fonction de la distance de l'effecteur par rapport à la base pour différentes paires de longueurs de barres possibles avec les angles en parallèle. . . . .	37
3.4	Angles en série des différentes barres en fonction de la position de l'effecteur par rapport à la base. . . . .	38
3.5	Inverse du conditionnement en fonction de la distance de l'effecteur par rapport à la base pour différentes paires de longueurs de barres possibles avec les angles en série. . . . .	39
3.6	Angles des différentes barres en fonction de la position de l'effecteur par rapport à la base et des longueurs des barres. . . . .	39
3.7	Inverse du conditionnement pour différents ratios de longueurs de barres avec les angles en parallèle. . . . .	40
3.8	Inverse du conditionnement pour différents ratios de longueurs de barres avec les angles en série . . . . .	41

3.9	Inverse du conditionnement de la matrice avec les forces à l'effecteur pour des couples donnés à des positions précises avec les angles en parallèle. . . . .	43
3.10	Bras du robot positionné dans le plan avec les forces maximales à l'effecteur en fonction des couples donnés (représentées par le losange) à des positions précises avec les angles en parallèle. . . . .	44
3.11	Points utilisés (en bleu) pour calculer l'amortissement linéaire résultant. . . . .	46
3.12	Vecteurs propres (en noir) et ellipse des valeurs propres (en bleu) lorsque l'amortissement est : $c_1 = 0.4Nm$ et $c_2 = 0.4Nm$ . . . . .	47
3.13	Mécanisme de base à 4 barres RRRR avec la barre $l_1$ comme base. . . . .	48
3.14	Aide à l'écriture avec mécanisme d'amortissement variable à quatre barres en mauve. . . . .	49
3.15	Aide à l'écriture avec mécanisme d'amortissement variable avec un vérin linéaire en mauve. . . . .	50
4.1	Results of a roundtable with occupational therapists on the possible efficiency of an HAD. . . . .	54
4.2	HAD prototype. . . . .	55
4.3	The four available handles to control the HAD. . . . .	56
4.4	ICJ depending on the length ratio of the two bars. . . . .	58
4.5	ICJ with the results of the forces at the end-effector with specified torques at the base. . . . .	59
4.6	Ellipses of the Eigen values and lines of the Eigen vectors a) at point (200 ; 346) and b) at point (250 ; 250). . . . .	60
4.7	Execution time for different shapes with and without the HAD. . . . .	62
4.8	Handwriting of the word "Seb" without the HAD (left) and with the HAD (right). . . . .	63
A.1	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.2 Nm$ et $c_2=0.2 Nm$ . . . . .	73
A.2	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.2 Nm$ et $c_2=0.4 Nm$ . . . . .	74
A.3	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.2 Nm$ et $c_2=0.8 Nm$ . . . . .	75
A.4	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.4 Nm$ et $c_2=0.2 Nm$ . . . . .	76
A.5	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.4 Nm$ et $c_2=0.4 Nm$ . . . . .	77
A.6	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.4 Nm$ et $c_2=0.8 Nm$ . . . . .	78
A.7	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.8 Nm$ et $c_2=0.2 Nm$ . . . . .	79
A.8	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.8 Nm$ et $c_2=0.4 Nm$ . . . . .	80
A.9	Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l'amortissement est : $c_1=0.8 Nm$ et $c_2=0.8 Nm$ . . . . .	81

# Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ma maîtrise.

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de maîtrise, Alexandre Campeau-Lecours, pour son soutien et son dévouement tout au long du projet. Ses conseils éclairés m'ont permis de mener à terme ce beau projet. Il m'a donné la chance incroyable de pouvoir faire une différence dans la vie des personnes vivant avec des limitations physiques.

En second lieu, je tiens à remercier ma co-directrice, Katia Turcot, ainsi que Véronique Flammant pour leur apport important dans ma recherche. Leurs connaissances du milieu clinique ainsi que des populations cibles m'a permis de mieux évaluer les objectifs du mécanisme et surtout d'en apprendre davantage sur les disciplines de l'ergothérapie et de la kinésiologie.

En dernier lieu, je tiens à remercier les membres du Laboratoire de Robotique pour leur soutien, en particulier Thierry et Michael. Les ergothérapeutes et intervenants en réadaptation nous ont aussi été d'une grande aide tout au long de ce projet.

# Avant-propos

Ce mémoire est présenté par l'insertion de deux articles. Le premier chapitre (Chap. 1) comporte une revue des effets de l'écriture à la main, des systèmes existants pour aider l'écriture et des systèmes de contrôle utilisés dans des situations similaires. Le chapitre suivant (Chap. 2) est constitué du premier article. Un chapitre complémentaire (Chap. 3) décrit les détails du processus de conception mécanique utilisé pour se rendre jusqu'à la version finale du prototype. Le deuxième article est ensuite présenté au Chapitre 4.

Le premier article a été soumis en février 2019 à la conférence Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA) ayant lieu à Toronto à l'été 2019. L'article présente la première version du prototype du mécanisme avec ses principales caractéristiques. L'étudiante est l'auteure principale, sous la supervision du directeur de recherche Alexandre Campeau-Lecours et de la co-directrice Katia Turcot. Les autres co-auteurs sont Thierry Laliberté, professionnel de recherche ayant participé à l'élaboration du mécanisme et Véronique Flamand, professeure en ergothérapie ayant aidé à créer un mécanisme bien adapté pour la population visée.

Un chapitre a été ajouté à la suite du premier article pour expliquer en détails le processus de conception mécanique. Il est possible de comprendre le choix de la géométrie ainsi que les analyses et les optimisations qui ont permis d'obtenir le prototype final. La section du mécanisme qui permet de faire un amortissement variable est aussi analysée en détails.

Un deuxième article a été rédigé dans le cadre du projet de maîtrise, mais n'est pas encore soumis. Cet article sera présenté prochainement pour être publié dans la revue Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering (RATE). Cet article présente les développements effectués pour améliorer le prototype suite au premier article ainsi que les résultats des essais préliminaires avec des utilisateurs potentiels. L'étudiante est encore l'auteur principale et les autres co-auteurs sont les mêmes que pour le premier article.

# Introduction

À l'école primaire, les enfants font principalement des activités motrices [1]. Si un enfant a des difficultés motrices, cela devient difficile pour elle ou lui de jouer avec les autres enfants et d'apprendre lors des activités en classe. Chaque tâche leur demande plus de temps pour être accomplie et le résultat final ne reflète habituellement pas les aptitudes réelles de l'enfant. Ces difficultés mènent souvent à des problèmes sociaux et émotionnels [1]. Une des tâches principales qu'un enfant doit apprendre à l'école est d'écrire à la main. Même s'il semble à première vue plus simple pour ses enfants d'écrire à l'ordinateur, l'écriture manuscrite est très importante dans leur développement. En comparaison avec l'écriture à l'ordinateur, elle aide la mémoire [2] et la reconnaissance des lettres [3], et rend la prise de notes plus efficace [4].

De plus, l'écriture manuscrite aide dans le processus d'apprentissage des enfants. Ceux-ci deviennent meilleurs pour prononcer les mots [5] et comprennent les problèmes de mathématiques plus facilement lorsqu'ils écrivent leur démarche [6]. Les enfants ont plus de facilité à apprendre l'alphabet lorsqu'ils l'écrivent comparativement à seulement le regarder [7]. Il y a beaucoup d'avantages à l'écriture manuscrite et les enfants gagnent à apprendre cette habileté.

Quelques produits existent déjà sur le marché pour aider lors de l'écriture. Par exemple, il existe des crayons ergonomiques pour tenir les crayons plus facilement ainsi que des gants anti-tremblement pour les personnes ayant le Parkinson. Au fil des années, quelques appareils robotisés ont été développés pour aider les enfants ayant de la difficulté à écrire. Wu *et al.* [8] ont conçu un mécanisme supportant le bras et la feuille de papier pour les enfants ayant une paralysie cérébrale pour les aider à dessiner. Pedemonte *et al.* [9] ont créé un mécanisme haptique pour aider les enfants à reproduire le mouvement leur permettant d'écrire correctement. Shire *et al.* [10] ont utilisé le Clinical Kinematic Assessment Tool (CKAT) pour apprendre aux enfants comment écrire correctement chaque lettre. Des mécanismes comme ceux mentionnés aident les enfants dans plusieurs aspects de leur vie, notamment la communication et la socialisation.



## **Problématique**

Plusieurs enfants vivant avec des difficultés de coordination et/ou la présence de spasticité musculaire peuvent avoir de la difficulté avec l'écriture manuscrite. Cette activité est cependant reconnue pour favoriser les apprentissages, notamment en soutenant la mémorisation [2], la reconnaissance de lettres [3], la lecture [4], et bien d'autres. Les effets de telles difficultés peuvent résulter notamment, mais non exclusivement en impossibilité à tenir un crayon correctement, en limitation dans la motricité fine requise pour écrire correctement ou en spasticité ou raideur trop importante pour écrire et dessiner. Une aide technique qui assiste l'enfant pour contrôler le crayon devient alors très intéressante dans ces situations. Les aides déjà disponibles commercialement ou développées dans la littérature ne permettent pas de répondre aux besoins des personnes vivant avec des incoordinations motrices ou des contractures, comme il a été mentionné lors d'entretiens avec des ergothérapeutes dans le domaine.

## **Objectif de maîtrise**

L'objectif de cette maîtrise est donc de concevoir une aide technique à l'écriture manuscrite capable d'aider les enfants vivant avec des difficultés de coordination durant les mouvements volontaires (ex. ataxie) ou involontaires (ex. dystonie) et/ou de la spasticité musculaire des membres supérieurs qui résulte en des réponses par réflexe anormales, ce qui complique le contrôle du mouvement, à écrire et dessiner. Le mécanisme vise à stabiliser les mouvements incoordonnés et à maintenir le crayon fixe, tout en visant un concept le plus simple possible afin que le résultat demeure abordable et accessible. Les travaux ont permis de concevoir un mécanisme capable d'amortir les mouvements de l'utilisateur avec des amortisseurs mécaniques et de faire varier cet amortissement en fonction des besoins de chaque personne. La cinématique du mécanisme a été analysée afin de maximiser ces capacités en fonction des dimensions choisies.

Ainsi, ce projet vise à fournir une assistance lors de l'écriture et du dessin, pour les mouvements des membres supérieurs, et ce, afin d'améliorer l'autonomie et l'apprentissage des utilisateurs de cette aide technique.

Le projet de recherche a été réalisé au Centre Interdisciplinaire de Recherche en Réadaptation et Intégration Sociale (CIRRISS), centre de recherche associé au CIUSSS de la Capitale-Nationale et au Laboratoire de robotique de l'Université Laval.

## **Méthodologie**

Le projet utilise une approche interdisciplinaire, itérative et centrée sur l'individu. Une revue de littérature (scientifique et commerciale) a permis d'identifier les avantages et les incon-

véniements des systèmes existants. Un groupe focalisé (ingénierie, ergonomie et kinésiologie) a ensuite permis d'établir les besoins, de discuter des solutions existantes et de proposer différents concepts. Finalement, un premier prototype a été conçu.

## Bibliographie

- [1] Cheryl Missiuna, Lisa Rivard, and Nancy Pollock. They're Bright but Can't Write : Developmental Coordination Disorder in School Aged Children. *Teaching Exceptional Children Plus*, 1(1) :n1, 2004.
- [2] Timothy J Smoker, Carrie E Murphy, and Alison K Rockwell. Comparing memory for handwriting versus typing. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 53, pages 1744–1747. SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2009.
- [3] Marieke Longcamp, Marie-Thérèse Zerbato-Poudou, and Jean-Luc Velay. The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta psychologica*, 119(1) :67–79, 2005.
- [4] Pam A Mueller and Daniel M Oppenheimer. The pen is mightier than the keyboard : Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological science*, 25(6) :1159–1168, 2014.
- [5] Virginie Pontart, Christel Bidet-Ildei, Eric Lambert, Pauline Morisset, Lisa Flouret, and Denis Alamargot. Influence of handwriting skills during spelling in primary and lower secondary grades. *Frontiers in psychology*, 4 :818, 2013.
- [6] Noraini Idris. Enhancing students' understanding in calculus trough writing. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 4(1) :36–55, 2009.
- [7] Karin H James and Thea P Atwood. The role of sensorimotor learning in the perception of letter-like forms : Tracking the causes of neural specialization for letters. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1) :91–110, 2009.
- [8] Fong-Gong Wu, Eva Chang, Rain Chen, and Chien-Hsu Chen. Assistive drawing device design for cerebral palsy children. *Technology and Disability*, 15(4) :239–246, 2003.
- [9] Nicolo Pedemonte, Thierry Laliberté, and Clément Gosselin. A bidirectional haptic device for the training and assessment of handwriting capabilities. In *World Haptics Conference (WHC), 2013*, pages 599–604. IEEE, 2013.
- [10] Katy A Shire, Liam J B Hill, Winona Snapp-Childs, Geoffrey P Bingham, Georgios K Kountouriotis, Sally Barber, and Mark Mon-Williams. Robot Guided 'Pen Skill' Training in Children with Motor Difficulties. *PloS one*, 11(3) :e0151354, 2016.

# Chapitre 1

## Revue des systèmes existants

Cette partie présente une revue de la littérature de ce qui s'est fait sur le sujet du présent mémoire. Les premières sections parleront des problèmes de coordination et d'écriture possible ainsi que de leur impact sur le développement des enfants et la différence entre l'écriture à la main et l'écriture à l'ordinateur. Par la suite, les aides existantes dans la littérature et commercialement seront détaillées suivi des détails liés à la spasticité et d'autres aides techniques pour les membres supérieurs ayant des similarités avec la problématique étudiée. Ensuite, des méthodes de contrôle des tremblements, de compensation des raideurs ainsi que d'autres méthodes de contrôle seront expliquées. La fin de cette partie portera sur des suggestions d'évaluations cliniques similaires ainsi que des designs mécaniques similaires utilisés dans la littérature.

### 1.1 Problèmes de coordination et d'écriture

Les troubles développementaux de la coordination (TDC) sont une des raisons pouvant limiter un enfant dans sa capacité d'écrire à la main. Ces TDC affectent 5 à 6 % des enfants d'âge scolaire [1]. Ceci veut dire qu'environ un enfant par classe est affecté par un TDC. Malheureusement, ce n'est pas la seule pathologie qui peut affecter l'apprentissage de l'écriture à la main. La paralysie cérébrale, la dystrophie musculaire, la dystonie et la dysgraphie en sont des exemples. Une étude auprès d'enfants atteints de dysgraphie démontre qu'ils savent reconnaître leurs problèmes d'écriture par eux-mêmes [2]. De plus, le développement du cerveau de ces enfants est pourtant normal morphologiquement parlant [3]. Lors de l'écriture, ils prennent habituellement plus de pauses durant l'écriture d'un mot plutôt que d'attendre à la fin de celui-ci comme les sujets sains [4]. Les résultats lors de tests d'écriture portant sur la quantité et la qualité de l'écriture ainsi que les caractéristiques temporelles et spatiales pour des enfants vivant avec un TDC ou de la dysgraphie sont similairement les mêmes [5]. Les deux groupes ont moins bien performé que les enfants du groupe de contrôle. Les résultats sont les mêmes pour les adolescents atteints de ces pathologies [6]. Il y a une forte

corrélation entre les TDC et les facteurs sociodémographiques [7] comme le sexe de l'enfant, l'âge et la participation aux activités sportives à l'extérieur de l'école. Aussi, une étude [8] s'est penchée sur les différences entre la dyslexie et la dysgraphie ainsi les points à apprendre des deux limitations, principalement de la première vers la seconde.

Pour apprendre à bien écrire, il faut développer six habiletés différentes [9]. Il faut (1) avoir développé les petits muscles pour être capable de bien tenir un crayon et (2) avoir une bonne coordination œil-main afin d'exécuter ce que les mouvements que le cerveau nous demande de faire. De plus, il faut (3) être capable de tenir un outil d'écriture. Ils ne sont pas tous aussi faciles à tenir ; un marqueur se tient plus facilement qu'un stylo pour un enfant en raison de son diamètre plus grand. L'exécution de traits simples est importante. Les lignes des dessins doivent être (4) claires et dans les bonnes directions en plus d'avoir des intersections aux bons endroits. Il faut (5) avoir la perception des lettres, voir ce qui se ressemble et ce qui diffère pour chaque lettre. Enfin, il faut (6) comprendre l'orientation du texte imprimé. Il faut savoir où est le début, où est la gauche et la droite ainsi que distinguer les mots et les lettres.

L'écriture est un élément essentiel lors de l'apprentissage d'un enfant. Une mauvaise écriture à la main peut avoir un effet important sur les performances scolaires [10; 11]. On peut simplement penser à toutes les tâches scolaires nécessitant la compréhension de l'écriture pour comprendre la portée d'un tel manque dans l'apprentissage : la rédaction, la résolution de problèmes, la compréhension de texte, répondre aux questions d'un examen, etc. De plus, nous sommes amenés à écrire en tant qu'adulte pour remplir des formulaires, faire des listes d'épicerie, etc.

De plus, notre écriture peut être influencée par ce que l'on voit. Si l'on se fait montrer des symboles tout en écrivant, nos lettres ne seront techniquement pas modifiées, mais si l'on se fait montrer des lettres en même temps d'écrire d'autres lettres, il y aura fort probablement de l'interférence entre les deux et le résultat final sera différent [12]. Le fait de montrer des lettres à un enfant lui permet de comprendre la forme de celles-ci et le fait de les reproduire améliore son exécution du mouvement de l'écriture[13].

En plus d'avoir de la difficulté à écrire, les enfants vivant avec des TDC lors de mouvements volontaires ou involontaires et/ou de la spasticité des membres supérieurs voient souvent ces problèmes se refléter sur d'autres sphères de leur vie. Ils ont notamment des problèmes dans leurs apprentissages scolaires ainsi qu'aux niveaux social et émotionnel [1]. À l'inverse, il y a un lien direct entre le fait d'écrire à la main et le succès académique [14], principalement au niveau des compétences littéraires et des compositions écrites [15]. Celles-ci reflètent directement l'intégration orthographique motrice et l'automatisme en écriture [16; 17; 18]. Les avantages de l'écriture manuscrite ne s'arrêtent pas là. Des corrélations ont été établies entre l'écriture à la main et les capacités d'épellation [19; 15] ainsi que l'acquisition des lectures

liées à une prise de notes [15]. La résolution de problèmes mathématiques est aussi plus efficace lorsque les démarches sont écrites explicitement à la main [20]. Une amélioration de l'écriture à la main permet de faciliter les modes d'expression personnelle [15] qui sont autrement impossible à exprimer.

Plusieurs chercheurs se sont penchés sur la question pour optimiser l'apprentissage des enfants vivant avec les difficultés motrices ou intellectuelles exprimées précédemment. Beringer et May [3] ont trouvé les principales évidences entre le diagnostic et le traitement des enfants qui vivent avec des difficultés d'apprentissage affectant l'écriture et/ou la parole. La participation d'ergothérapeutes lors de l'apprentissage de l'écriture à la main à la garderie et au début du primaire marque significativement l'amélioration des enfants, autant les patients sains que ceux vivant avec différentes limitations [21; 22; 23]. De telles interventions dans les écoles ont des impacts significatifs sur le développement de l'écriture pour les enfants, principalement les garçons qui ont plus de difficulté avec l'écriture à l'école primaire [16]. Un programme se basant sur l'apprentissage géré par l'enfant a aussi été essayé en Belgique [24] afin d'améliorer les capacités d'écriture des enfants. Les résultats ont démontré que les enfants qui avaient auparavant des difficultés d'écriture avaient maintenant une écriture plus rapide et plus soignée. De même, trois enfants vivant avec des difficultés intellectuelles ont été mis dans un petit groupe pour se concentrer sur leurs habiletés liées à l'écriture et celles-ci se sont améliorées de manière significative durant les 32 semaines de l'étude [25].

## **1.2 L'écriture à la main versus à l'ordinateur**

L'écriture à la main apporte de nombreux avantages lors de l'apprentissage d'un enfant, mais à l'ère actuelle, l'ordinateur et les autres technologies de communication comme les tablettes prennent une place importante dans nos vies. Quelle est la différence entre écrire à la main et écrire sur un clavier ? Est-ce que cela peut avoir une incidence sur l'apprentissage des enfants ?

Les recherches démontrent qu'il n'y a pas de corrélation significative entre les performances d'écriture à la main en comparaison avec un clavier d'ordinateur [26; 27]. Il est donc logique de conseiller à un enfant qui écrit lentement à la main ou dont le résultat n'est pas facilement lisible d'utiliser un ordinateur, car cela accélère sa vitesse d'écriture et rend le texte plus compréhensible [26]. Par contre, l'écriture à la main ne développe pas les mêmes compétences [26]. En effet, le fait d'écrire les lettres à la main au lieu d'à l'ordinateur améliore la reconnaissance des lettres [28]. Les mots écrits sont aussi mieux mémorisés lorsqu'on écrit avec un crayon [29]. De plus, la prise de notes en classe à la main permet de mieux se souvenir des notions apprises [30]. En écrivant sur un clavier, les étudiants ont tendance à réécrire mot pour mot de manière systématique ce qui leur a été dicté alors qu'ils réécrivent plus dans

leurs propres mots en prenant des notes à la main [30]. De plus, comme Docteur Klass le dit, l'écriture manuscrite permet de se créer un langage personnel et unique [31] grâce à notre style d'écriture qui nous est propre.

Et qu'en est-il de l'utilisation de la tablette pour écrire? Et bien, ce n'est pas tout à fait comme écrire directement sur du papier. Les retours visuels et proprioceptifs sont diminués, affectant ainsi les performances d'écriture des enfants [32; 33]. Les performances sur les tablettes sont aussi affectées si l'enfant utilise un crayon ou son doigt pour écrire [34]. Les résultats sont meilleurs lorsque les enfants écrivent avec leur doigt au lieu d'un stylet. Pour les enfants n'ayant pas de problèmes d'apprentissage, la tablette peut toutefois avoir des impacts positifs dans le développement littéraire, les mathématiques, les sciences, la résolution de problèmes et l'efficacité personnelle[35].

Une revue de littérature des impacts de l'écriture avec une aide technologique et à la main a été effectuée pour comprendre les principales différences sur les enfants du primaire [36]. Les résultats de cette analyse démontrent que les études de psychologie cognitive et de neurosciences pointent en faveur de l'écriture manuscrite tandis que la perspective socioculturelle favorise l'écriture digitale.

Bien qu'il peut sembler plus simple d'apprendre à un enfant qui vit avec des limitations physiques ou intellectuelles d'écrire à l'ordinateur, l'écriture à la main reste un élément essentiel dans le processus d'éducation qu'il faut intégrer, dès que possible pour ces enfants.

### **1.3 Aides existantes pour l'écriture et le dessin**

Maintenant que les avantages de l'écriture manuscrite sont bien définis, les différentes aides qui ont été développées en lien avec cette problématique sont présentées. En premier lieu, les aides commerciales sont décrites, suivi des aides proposées dans la littérature.

#### **1.3.1 Aides commerciales**

Plusieurs aides techniques existent sur le marché pour aider autant les enfants que les adultes lors de l'écriture.

L'aide la plus connue est l'embout à crayon que l'on peut ajouter sur un crayon de plomb. Il existe différentes formes et grosseurs possibles. La Figure 1.1 montre un exemple de modèle [37]. Ces embouts plus gros facilitent la prise du crayon et les plats guident l'utilisateur dans le placement de ses doigts.

Plusieurs autres aides ont été développées, mais elles sont pour la majorité moins connues. On retrouve notamment le crayon en « Y », le PenAgain [38], qui permet à l'utilisateur de modifier sa prise sur le crayon. Montré à la Figure 1.2, ce crayon permet aussi de détendre



FIGURE 1.1 – Embout à crayon surdimensionné se glissant sur des crayons de plomb standards.

la main lors de l'écriture. La Figure 1.3 montre un support différent [39] : le crayon est lié au poignet par un élastique. Ceci permet de tenir le crayon en place dans la main pour l'utilisateur. Un petit embout est aussi tenu dans la main afin de détendre celle-ci et de faciliter la prise du crayon. Une autre aide développée est le *Ergowriter* [40] qui vient se fixer sur le crayon. Présenté à la Figure 1.4, le mécanisme permet de tenir le crayon autrement, entre l'index et le majeur. Un espace est aussi prévu pour soutenir le pouce. Ce support permet de relaxer la prise sur le crayon par rapport à un crayon standard sans support.



FIGURE 1.2 – PenAgain, crayon en forme de « Y ».

Une aide un peu plus complexe est l'orthèse Wanchik [41]. Celle-ci est rigide et s'attache au poignet de l'utilisateur comme présenté à la Figure 1.5. Le crayon est fixé dans le mécanisme et des emplacements sont prévus pour déposer le pouce et l'index. L'orthèse place la main dans la bonne position pour tenir le crayon. La Figure 1.6 montre le *Steady Writing Pen* [42] qui a été développé entre autres pour les personnes vivant avec le Parkinson. Le mécanisme s'installe sur le crayon. Une base solide se dépose sur la table pour limiter les tremblements. Celle-ci a un angle plus petit que 90 degrés par rapport au crayon pour permettre à l'utilisateur d'écrire avec le même angle de crayon que s'il n'utilisait pas le mécanisme. Un autre



FIGURE 1.3 – HandiWriter, support élastique liant le crayon au poignet.



FIGURE 1.4 – Ergowriter, support à crayon qui permet de tenir le crayon entre le majeur et l'index et incluant un support pour le pouce.

mécanisme qui tient le crayon pour l'utilisateur est le *Writing Bird* [43], l'oiseau d'écriture. Comme il est présenté à la Figure 1.7, cette aide est en forme d'oiseau comme son nom l'indique. Le crayon est fixé dans la tête et tient en place grâce à une vis à pression. Le corps de l'oiseau vient épouser la forme de la main de l'utilisateur. Cette aide permet de modifier la prise du crayon pour ceux qui ne peuvent pas avoir la dextérité fine requise pour tenir le crayon normalement. Le dernier mécanisme que l'on retrouve sur le marché est l'orthèse Blackburn [44]. Cette orthèse vient s'attacher à la main de l'utilisateur. Le crayon est attaché au mécanisme, montré à la Figure 1.8. Le mécanisme a trois pattes : une pour le crayon et deux à l'extrémité proximale de la paume de la main avec des roulements à billes. Ses trois points d'appui permettent de maintenir la main stable et les roulements à billes favorisent les mouvements fluides.

Les aides disponibles sur le marché sont relativement simples et ne conviennent pas à toutes les pathologies expliquées plus tôt. La moitié de ces produits sont difficiles à obtenir puisque la majorité des sites internet qui les proposent sont en rupture de stock.





FIGURE 1.5 – Orthèse Wanchik, fixant le crayon sur le mécanisme et s’attachant sur le poignet de l’utilisateur.



FIGURE 1.6 – Steady Writing Pen, support à crayon pour le garder à angle par rapport à la feuille.



FIGURE 1.7 – Writing Bird, support à crayon en forme d’oiseau pour modifier la prise du crayon.

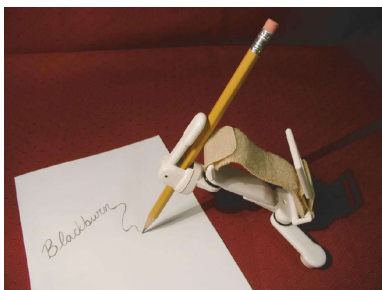


FIGURE 1.8 – Orthèse Blackburn, soutenant le crayon et venant s’attacher à la main, cette orthèse aide les utilisateurs qui ne peuvent pas tenir un crayon.

### 1.3.2 Aides développées dans la littérature

Dans la littérature, quelques recherches se sont penchées sur le développement d’aide à l’écriture. Les produits développés sont décrits en détail ci-dessous.

La première aide développée aide les enfants vivant avec une paralysie cérébrale à dessiner [45]. Le mécanisme est constitué d’un support à bras, d’une planche à dessin et d’une poignée. L’enfant peut appuyer son avant-bras dans le support à bras et utiliser la poignée pour bouger la planche à dessin. Le mécanisme final permet de réduire la fatigue dans le bras de l’utilisateur, réduisant ainsi les tremblements liés à la fatigue. Pour ce qui est de la capacité des enfants à dessiner, celle-ci n’est que légèrement augmentée avec le mécanisme. Au final, le produit devrait être amélioré avant d’être utilisé avec des enfants pour les aider à dessiner afin de leur permettre de couvrir une plus grande surface de dessin.

Pour les personnes vivant avec des limitations importantes aux membres supérieurs, un outil a été développé pour présélectionner le texte pour l’utilisateur [46]. Celui-ci se connecte à un ordinateur. L’utilisateur a deux boutons qu’il utilise pour faire défiler et sélectionner les lettres et les mots à l’écran. Les choix qui suivent la sélection d’un mot ou d’une lettre sont décidés en fonction de ce qu’il y a le plus de possibilités d’occurrence. Cette aide, comme toutes celles développées pour aider à sélectionner les lettres ou les mots pour les personnes vivant avec d’importantes limitations aux membres supérieurs ne permet pas à l’utilisateur d’écrire par lui-même en tenant un crayon, mais lui permet plutôt d’écrire de manière autonome à l’aide d’un ordinateur. La méthode utilisée pour décider les prochaines lettres affichées permet de réduire le temps requis pour compléter un mot et le nombre de mouvements nécessaires est aussi diminué.

De plus, des mécanismes haptiques peuvent être utilisés afin d’aider un utilisateur à reproduire un mouvement [47; 48]. Le mécanisme développé par Pedemonte [47] transmet en temps réel les mouvements effectués par un professeur à un second mécanisme afin d’aider l’étudiant à apprendre le mouvement, à l’effectuer et à le faire correctement. Les essais ont été effectués avec des personnes écrivant avec leur mauvaise main. Après seulement

quelques tentatives avec l'enseignant, tous les participants étaient capables d'écrire *hello* de manière beaucoup plus lisible. Kim [48], quant à lui, a développé un mécanisme haptique qui permet à des enfants de reproduire des primitives de lettres et des lettres de manière répétitive et similaire. Il y a aussi un contrôle de la force et de l'aide apportée par les moteurs. Des essais ont été effectués avec quatre enfants ayant soit des déficits moteurs, soit des troubles d'attention et les résultats ont prouvé que le mécanisme les aidait à former des lettres mieux définies. Il a aussi été montré que le contrôle en trois dimensions était possible pour l'écriture et que cet aspect devrait être plus développé dans le futur.

Dans le même ordre d'idée, un robot a été développé pour guider un crayon [49]. Celui-ci utilise un principe semblable aux mécanismes haptiques. Il effectue des mouvements précis à l'effecteur afin d'aider l'utilisateur à apprendre à écrire les lettres correctement. Le but de cette étude était de voir s'il était possible de voir les effets d'un tel mécanisme et si ceux-ci étaient généralisés. Les résultats ont montré que le mécanisme d'aide avait la capacité d'aider les enfants vivant avec des troubles moteurs, mais que les exercices devaient être spécifiques (par exemple, viser des exercices pour la formation des lettres).

Les différents mécanismes qui ont été développés dans la littérature n'ont jamais été commercialisés par la suite. Les produits sont complexes et sont parfois trop limitants pour les utilisateurs. Une personne qui peut bouger de manière autonome n'a pas besoin de se faire guider par un robot. De plus, ces mécanismes limitent les possibilités d'apprentissage puisqu'il n'y a pas de niveau d'amélioration possible entre l'utilisation du mécanisme et l'écriture de manière autonome.

## 1.4 Spasticité

Comme il a été montré dans les sections précédentes, les difficultés liées à l'écriture ont des effets importants et les différents mécanismes développés autant dans la littérature que commercialement ne permettent pas d'aider les personnes vivant avec toutes les pathologies qui créent des limitations aux membres supérieurs. Une de ces pathologies qui est souvent présente chez les personnes vivant avec une paralysie cérébrale est la spasticité. Celle-ci est caractérisée par une augmentation dépendante de la vitesse des réflexes ostéotendineux avec des secousses tendineuses exagérées, résultant en hyperexcitabilité des réflexes[50].

En plus de créer des mouvements involontaires, la spasticité vient avec de la raideur, de la douleur et de la faiblesse musculaire [51]. Les effets sur les patients sont non seulement physiques, mais aussi psychologiques. Les personnes ont souvent tendance à s'isoler et à avoir une plus faible estime d'eux-mêmes [51].

Les spasmes créés par cette pathologie font en sorte que ces personnes ne peuvent pas utiliser les mécanismes standards développés autant dans la littérature que commercialement.

Un moyen efficace de contrôler ses spasmes est d'ajouter un amortissement important dans le mécanisme lors de secousses involontaires. De tous les mécanismes présentés précédemment, aucun n'a cette capacité.

## 1.5 Aides techniques aux membres supérieurs

Cette section décrit certaines aides techniques développées dans d'autres contextes qui utilisent des approches intéressantes pour le projet actuel. Les trois aides présentées n'ont pas été prévues pour aider l'écriture, mais pourraient être utilisées dans ce contexte.

Gu *et al.* [52] ont développé un support à bras pour les personnes âgées vivant encore à la maison. Le support est composé d'un joint actif pour combattre la gravité et de trois joints passifs pour se déplacer dans le plan de travail. Le joint actif est composé d'un ressort comme élément principal contre la gravité et d'un cylindre hydraulique pour ajuster la compensation de manière adéquate. Le contrôle de ce joint se fait à l'aide d'une lecture électromyographique (EMG) de quatre muscles de bras. Les résultats ont démontré que les lectures EMG permettaient d'envoyer un signal capable de bien compenser la gravité.

Le robot CRS a été modifié par l'équipe de Cook [53] afin de faciliter l'apprentissage pour des enfants qui ne sont habituellement pas capables de prendre des objets ou de parler. Une interface a été développée et adaptée pour chaque enfant. Les résultats préliminaires montrent que les enfants vivant avec des limitations sévères peuvent utiliser le bras robotisé pour réaliser des tâches fonctionnelles reliées au jeu.

L'étude effectuée par Henderson *et al.* [54] fait le tour des recherches publiées dans la littérature pour voir l'effet d'aides techniques sur les enfants. En tout, 54 études ont été analysées pour les activités suivantes nécessitant une aide technique : accessibilité à un ordinateur, assistance dans les activités, changements de comportement, communication, alimentation autonome, activités de la vie courante, mobilité, modification de l'environnement, nutrition et stabilité posturale. Les résultats montrent que les aides techniques peuvent être bénéfiques à plusieurs enfants vivant avec plusieurs troubles fonctionnels. Les avantages sont présents dans plusieurs sphères de leur vie, autant d'un point de vue émotionnel que relationnel.

## 1.6 Contrôle des tremblements

Bien que la population visée par le projet de ce présent mémoire ait principalement des spasmes, il est possible que certains utilisateurs aient des tremblements similaires à ceux associés à la maladie de Parkinson. Les tremblements sont souvent répétés et ont une fréquence précise. La littérature montre que plusieurs méthodes différentes ont été utilisées pour contrôler les tremblements. Trois méthodes utilisées pour les membres supérieurs sont présentées ici.

La première est la *controlled-energy-dissipation orthosis* [55] (orthèse à dissipation d'énergie contrôlée) qui a été conçue pour supprimer les tremblements d'intention. Le mécanisme est un support à bras fixé à une chaise ou une table et se tient à l'avant-bras de l'utilisateur. Permettant trois degrés de liberté à l'utilisateur, cette orthèse applique une résistance proportionnelle à la vitesse de l'usager à l'aide de freins à particules magnétiques contrôlés par ordinateur. Cette méthode permet aussi de contrer l'inertie de l'orthèse qui bouge afin que l'utilisateur ne la ressente pas. Les résultats des premiers essais ont montré que cette méthode permet de réduire les tremblements. Cette méthode pourrait aussi être intéressante pour les personnes vivant avec de la spasticité.

La seconde méthode est utilisée dans un exosquelette développé par Pons [56]. Pour ce prototype, des moteurs ont été ajoutés au coude et au poignet. Ceux-ci appliquent des forces dynamiques internes et permettent de contrôler jusqu'à 80 pour cent des tremblements pour des personnes vivant avec des tremblements sévères.

La troisième approche [57] utilise la résistance d'un fluide pour réduire les tremblements au niveau de l'extension et de la flexion du poignet. L'orthèse permet de contrôler les mouvements dans une direction et laisse libres les autres mouvements possibles du poignet. Deux plaques qui peuvent plier permettent de transformer les mouvements angulaires en mouvements quasi linéaires. Entre celles-ci un fluide visqueux permet un amortissement par cisaillement. Les résultats sont satisfaisants pour produire la cinématique désirée (réduction des tremblements), mais les effets non linéaires du fluide non newtonien ne permettent pas d'obtenir tous les résultats souhaités.

## 1.7 Compensation des raideurs

Une autre problématique que peuvent avoir les personnes vivant avec les pathologies présentées plus haut est la présence des raideurs musculaires. Ceci peut être très limitant parce qu'il faut une force plus importante qu'à l'habitude pour faire bouger les membres du corps. Certaines personnes se sont penchées sur le sujet afin de trouver une solution compatible avec des aides techniques.

La première proposition vient de Tolou [58] et s'applique aux prothèses de mains, mais pourrait très bien être extrapolée aux aides techniques. Celui-ci propose de mettre des ressorts dans une prothèse de main afin de créer un mécanisme balancé statiquement. Ceci permet de réduire les raideurs jusqu'à 96 pour cent.

La seconde méthode a été développée par Lobo-Prat [59] et s'utilise avec un support de bras. Des méthodes de contrôle ont été implémentées afin de contrôler la raideur et la gravité pour maximiser le contrôle du support. Un filtre passe-bas a été utilisé pour déterminer la force à compenser. Les résultats sont prometteurs et permettent de contrer la gravité comme la

majorité des supports de bras, mais permettent aussi un contrôle des raideurs en temps réel.

## 1.8 Autres méthodes de contrôle

Plusieurs méthodes de contrôle peuvent être utilisées pour contrôler les aides techniques. Lobo-Prat [60] a justement fait le recensement de toutes ses méthodes qui ont été utilisées dans la littérature et au niveau commercial. Sans entrer dans les détails, voici une liste qui résume les résultats de la recherche :

1. Interfaçage avec le contrôleur : interfaces cerveau-ordinateur
  - a) Activité électrique du cerveau
  - b) Hémodynamique du cerveau
2. Interfaçage avec les actionneurs : interfaces d'activation musculaire
  - a) Courant électrique
3. Interfaçage avec les actionneurs : interfaces de contraction musculaire
  - a) Vibration des muscles
  - b) Changement de dimension des muscles
  - c) Force radiale des muscles et raideur musculaire
  - d) Force musculaire
  - e) Hémodynamique des muscles
4. Interfaçage avec le corps : Interfaces de mouvement
  - a) Mouvement des segments du corps
  - b) Mouvement relatif des joints du corps
5. Interfaçage avec le corps : Interfaces de forces
  - a) Force et/ou pression du corps
6. Interfaçage avec des systèmes parallèles
  - a) Interfaces avec les yeux
  - b) Interfaces avec la langue
  - c) Interfaces avec la tête
  - d) Interfaces avec le langage
  - e) Interfaces avec les mains
  - f) Autres interfaces avec des systèmes parallèles
7. Interfaçage de contrôle hybride

Deux de ces méthodes ont été utilisées dans des contextes d'écriture. La première utilise les signaux EMG [61] afin de détecter les intentions de mouvements de l'utilisateur sur deux muscles de l'avant-bras. Chihi a développé un modèle d'observateur interne qui permet d'estimer les mouvements de l'écriture effectués par l'utilisateur [61].

La seconde méthode proposée par Meulenbroek [62] enregistre les mouvements du crayon dans trois tâches liées à l'écriture et les analyse dans deux systèmes d'axes différents. Le premier utilise des repères anatomiques de l'avant-bras et de la main et permet de suivre les mouvements obliques tandis que le second utilise un système cartésien et donne des mouvements linéaires dans les plans. Les différences entre les deux systèmes ont permis de tirer des conclusions sur l'effet du placement du bras, sur la longueur des traits dans toutes les directions ainsi que la répétabilité des tâches.

## 1.9 Évaluation

Différentes méthodes ont été expérimentées afin d'évaluer des aides techniques. Trois démarches utilisées dans la littérature sont décrites ici [63; 64; 65].

La première est une nouvelle version en allemand du questionnaire QUEST [63] qui permet d'évaluer la satisfaction d'utilisateurs d'aides techniques, quelles qu'elles soient. Ce formulaire à dix questions a été analysé afin de déterminer sa fiabilité ainsi que sa validité en fonction des aides évaluées. Les résultats démontrent que les questions sont appropriées dans la majorité des cas et que l'option non applicable permet de rendre le questionnaire valide pour toutes les aides techniques analysées par leurs utilisateurs.

La seconde méthode est plus ciblée sur le dessin. Elle analyse des spirales dessinées sur une tablette par des personnes vivant avec la maladie de Parkinson [64]. Les auteurs ont cherché à déterminer la prise du crayon et les mouvements effectués par des patients avec et sans traitement médical. Les résultats ont permis de déterminer avec précision le moment exact durant l'exécution du mouvement où la maladie vient perturber la réalisation de la spirale. Cette méthode d'analyse relativement simple est suggérée comme outil aux médecins afin de déterminer si leurs patients souffrent de la maladie de Parkinson et de suivre l'évolution de celle-ci.

La troisième évaluation vise aussi le dessin, mais pour une autre clientèle. Les répercussions sur le dessin d'enfants vivant avec de la dyslexie et de la dysgraphie ont été analysées à l'aide de formes simples [65]. Des mesures en trois dimensions de l'environnement de travail de l'enfant ont été prises lors de l'exécution d'un cercle, d'un carré et d'une croix. Il y avait trois groupes : ceux avec de la dyslexie, ceux avec de la dyspraxie et un groupe contrôle. Les résultats décrivent la vitesse d'exécution des différentes formes pour chaque trait effectué en plus des longueurs tracées et des temps d'exécution.

## 1.10 Design mécanique

La conception du mécanisme tel qu'il sera présenté dans les prochaines sections s'est faite en s'inspirant de concepts déjà présentés dans la littérature. Le design reprend la base développée par Turgeon [66; 67] d'un mécanisme à deux degrés de liberté angulaires et un effecteur qui ne permet que des déplacements linéaires. L'analyse cinématique d'un tel mécanisme a été effectuée afin de mieux comprendre le fonctionnement du mouvement en regardant ce qui s'est déjà fait sur un mécanisme similaire utilisé comme outil de peinture [68]. Suite à cela, l'amortissement angulaire à la base du mécanisme a été converti en amortissement linéaire, comme présenté dans les travaux de [69]. Plus de détails sur le mécanisme et les spécificités qui le composent sont présentés au chapitre 3.

## 1.11 Bibliographie

- [1] Cheryl Missiuna, Lisa Rivard, and Nancy Pollock. They're Bright but Can't Write : Developmental Coordination Disorder in School Aged Children. *Teaching Exceptional Children Plus*, 1(1) :n1, 2004.
- [2] Batya Engel-Yeger, Limor Nagauker-Yanuv, and Sara Rosenblum. Handwriting performance, self-reports, and perceived self-efficacy among children with dysgraphia. *American Journal of Occupational Therapy*, 63(2) :182–192, 2009.
- [3] Virginia W Berninger and Maggie O'Malley May. Evidence-based diagnosis and treatment for specific learning disabilities involving impairments in written and/or oral language. *Journal of Learning Disabilities*, 44(2) :167–183, 2011.
- [4] Emma Sumner, Vincent Connelly, and Anna L Barnett. The influence of spelling ability on handwriting production : Children with and without dyslexia. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 40(5) :1441, 2014.
- [5] Mellissa Prunty and Anna L Barnett. Understanding handwriting difficulties : A comparison of children with and without motor impairment. *Cognitive neuropsychology*, 34(3-4) :205–218, 2017.
- [6] Liat Hen-Herbst and Sara Rosenblum. Which characteristics predict writing capabilities among adolescents with dysgraphia? *Pattern Recognition Letters*, 121 :6–12, 2019.
- [7] Laura Delgado-Lobete, Sergio Santos-del Riego, Sonia Pérttega-Díaz, and Rebeca Montes-Montes. Prevalence of suspected developmental coordination disorder and associated factors in Spanish classrooms. *Research in developmental disabilities*, 86 :31–40, 2019.



- [8] Diana Döhla and Stefan Heim. Developmental dyslexia and dysgraphia : What can we learn from the one about the other? *Frontiers in psychology*, 6 :2045, 2016.
- [9] Linda Leonard Lamme. Handwriting : In an early childhood curriculum. *Young Children*, pages 20–27, 1979.
- [10] Louise Spear-Swerling. The importance of teaching handwriting. *Learning disabilities Online*, 2006.
- [11] Claire E Cameron, Elizabeth A Cottone, William M Murrah, and David W Grissmer. How are motor skills linked to children’s school performance and academic achievement? *Child Development Perspectives*, 10(2) :93–98, 2016.
- [12] Karin H James and Isabel Gauthier. When writing impairs reading : Letter perception’s susceptibility to motor interference. *Journal of Experimental Psychology : General*, 138(3) :416, 2009.
- [13] Annie Vinter and Estelle Chartrel. Effects of different types of learning on handwriting movements in young children. *Learning and Instruction*, 20(6) :476–486, 2010.
- [14] Susan M Cahill. Where does handwriting fit in? Strategies to support academic achievement. *Intervention in School and Clinic*, 44(4) :223–228, 2009.
- [15] Sally Kaminsky, Rene Powers, and Rene Powers. Remediation of handwriting difficulties : A practical approach. *Academic Therapy*, 17(1) :19–25, 1981.
- [16] Jane Medwell and David Wray. Handwriting : What do we know and what do we need to know? *Literacy*, 41(1) :10–15, 2007.
- [17] Teresa Limpo and Rui A Alves. Written language bursts mediate the relationship between transcription skills and writing performance. *Written Communication*, 34(3) :306–332, 2017.
- [18] Sebastian Suggate, Eva Pufke, and Heidrun Stoeger. The effect of fine and grapho-motor skill demands on preschoolers’ decoding skill. *Journal of Experimental Child Psychology*, 141 :34–48, 2016.
- [19] Virginie Pontart, Christel Bidet-Ildei, Eric Lambert, Pauline Morisset, Lisa Flouret, and Denis Alamargot. Influence of handwriting skills during spelling in primary and lower secondary grades. *Frontiers in psychology*, 4 :818, 2013.
- [20] Noraini Idris. Enhancing students’ understanding in calculus through writing. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 4(1) :36–55, 2009.

- [21] Howard Taras, Jesse Brennan, Andrew Gilbert, and Helen Eck Reed. Effectiveness of occupational therapy strategies for teaching handwriting skills to kindergarten children. *Journal of Occupational Therapy, Schools, & Early Intervention*, 4(3-4) :236–246, 2011.
- [22] Jane Case-Smith, Terri Holland, and Beth Bishop. Effectiveness of an integrated handwriting program for first-grade students : A pilot study. *American Journal of Occupational Therapy*, 65(6) :670–678, 2011.
- [23] Adel A Alhusaini, Ganeswara Rao Melam, and Syamala Buragadda. Short-term sensorimotor-based intervention for handwriting performance in elementary school children. *Pediatrics International*, 58(11) :1118–1123, 2016.
- [24] Hilde Van Waelvelde, Amy De Roubaix, Lien Steppe, Evy Troubleyn, Barbara De Mey, Griet Dewitte, Julie Debrabant, and Dominique Van de Velde. Effectiveness of a self-regulated remedial program for handwriting difficulties. *Scandinavian journal of occupational therapy*, 24(5) :311–319, 2017.
- [25] Corinna F Grindle, Rina Cianfaglione, Liz Corbel, Emily V Wormald, Freddy Jackson Brown, Richard P Hastings, and J Carl Hughes. Teaching handwriting skills to children with intellectual disabilities using an adapted handwriting programme. *Support for Learning*, 32(4) :313–336, 2017.
- [26] Janet Rogers and Jane Case-Smith. Relationships between handwriting and keyboarding performance of sixth-grade students. *The american journal of occupational therapy*, 56(1) :34–39, 2002.
- [27] Luxi Feng, Amanda Lindner, Xuejun Ryan Ji, and R Malatesha Joshi. The roles of handwriting and keyboarding in writing : a meta-analytic review. *Reading and Writing*, 32(1) :33–63, 2019.
- [28] Marieke Longcamp, Marie-Thérèse Zerbato-Poudou, and Jean-Luc Velay. The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta psychologica*, 119(1) :67–79, 2005.
- [29] Timothy J Smoker, Carrie E Murphy, and Alison K Rockwell. Comparing memory for handwriting versus typing. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 53, pages 1744–1747. SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2009.
- [30] Pam A Mueller and Daniel M Oppenheimer. The pen is mightier than the keyboard : Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological science*, 25(6) :1159–1168, 2014.

- [31] Perri Klass. Why handwriting is still essential in the keyboard age. *The New York Times*. Retrieved from <https://well.blogs.nytimes.com/2016/06/20/why-handwriting-is-still-essential-in-the-keyboardage>, 2016.
- [32] Jessica Guilbert, Denis Alamargot, and Marie-France Morin. Handwriting on a tablet screen : Role of visual and proprioceptive feedback in the control of movement by children and adults. *Human movement science*, 65 :30–41, 2019.
- [33] Sabrina Gerth, Annegret Klassert, Thomas Dolk, Michael Fliesser, Martin H Fischer, Guido Nottbusch, and Julia Festman. Is handwriting performance affected by the writing surface? Comparing preschoolers', second graders', and adults' writing performance on a tablet vs. Paper. *Frontiers in psychology*, 7 :1308, 2016.
- [34] Melissa M Patchan and Cynthia S Puranik. Using tablet computers to teach preschool children to write letters : Exploring the impact of extrinsic and intrinsic feedback. *Computers & education*, 102 :128–137, 2016.
- [35] Christothea Herodotou. Young children and tablets : A systematic review of effects on learning and development. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(1) :1–9, 2018.
- [36] Sabine Wollscheid, Jørgen Sjaastad, and Cathrine Tømte. The impact of digital devices vs. Pen (cil) and paper on primary school students' writing skills—A research review. *Computers & Education*, 95 :19–35, 2016.
- [37] Carex enablers pen and pencil cushion.
- [38] Ergo-Sof PenAgain.
- [39] HandiWriter.
- [40] Maddak ErgoWriter Writing Instrument.
- [41] Wanchik's writer.
- [42] Maddak Steady Write Sta-pen writing instrument.
- [43] Achieva Writing bird Writing aid.
- [44] Le système Blackburn pour écrire et à usages multiples.
- [45] Fong-Gong Wu, Eva Chang, Rain Chen, and Chien-Hsu Chen. Assistive drawing device design for cerebral palsy children. *Technology and Disability*, 15(4) :239–246, 2003.
- [46] Craig W Heckathorne and Dudley S Childress. Applying anticipatory text selection in a writing aid for people with severe motor impairment. *IEEE Micro*, 3(3) :17–23, 1983.

- [47] Nicolo Pedemonte, Thierry Laliberté, and Clément Gosselin. A bidirectional haptic device for the training and assessment of handwriting capabilities. In *World Haptics Conference (WHC), 2013*, pages 599–604. IEEE, 2013.
- [48] Younhee Kim, Zoran Duric, Naomi Lynn Gerber, Arthur R Palsbo, and Susan E Palsbo. Teaching letter writing using a programmable haptic device interface for children with handwriting difficulties. In *2009 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, page 157. IEEE, 2009.
- [49] Katy A Shire, Liam J B Hill, Winona Snapp-Childs, Geoffrey P Bingham, Georgios K Kountouriotis, Sally Barber, and Mark Mon-Williams. Robot Guided ‘Pen Skill’ Training in Children with Motor Difficulties. *PloS one*, 11(3) :e0151354, 2016.
- [50] Melanie M Adams and Audrey L Hicks. Spasticity after spinal cord injury. *Spinal cord*, 43(10) :577, 2005.
- [51] Ganesh Bavikatte, Tarek Gaber Ganesh Bavikatte, and Tarek Gaber. Approach to spasticity in General practice Approach to spasticity in General practice. *British Journal of Medical Practitioners*, 2(3), 2009.
- [52] Gwang Min Gu, Hyosang Lee, Pilwon Heo, Sangjoon J Kim, and Jung Kim. Upper-limb assistive device for the elderly at home. In *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2014 11th International Conference on*, pages 535–539. IEEE, 2014.
- [53] Albert M Cook, MQ-H Meng, Jason J Gu, and Kathy Howery. Development of a robotic device for facilitating learning by children who have severe disabilities. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 10(3) :178–187, 2002.
- [54] Stacey Henderson, Heather Skelton, and Peter Rosenbaum. Assistive devices for children with functional impairments : impact on child and caregiver function. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(2) :89–98, 2008.
- [55] Michael J Rosen, Allison S Arnold, Ivan J Baiges, Mindy L Aisen, and Sheila R Eglowstein. Design of a controlled-energy-dissipation orthosis (CEDO) for functional suppression of intention tremors. *Journal of rehabilitation research and development*, 32 :1, 1995.
- [56] J L Pons, E Rocon, A F Ruiz, and J C Moreno. Upper-limb robotic rehabilitation exoskeleton : Tremor suppression. In *Rehabilitation robotics*. InTech, 2007.
- [57] Jack Kotovsky and Michael J Rosen. A wearable tremor-suppression orthosis. *Journal of rehabilitation research and development*, 35 :373–387, 1998.

- [58] Nima Tolou, Gerwin Smit, Ali Asadi Nikooyan, Dick Plettenburg, and Just Herder. Stiffness compensation in hand prostheses with cosmetic coverings using statically balanced mechanisms. *Transactions of the ASME-W-Journal of Medical Devices*, 4(2) :27527, 2010.
- [59] Joan Lobo-Prat, Arvid Q L Keemink, Bart F J M Koopman, Arno H A Stienen, and Peter H Veltink. Adaptive gravity and joint stiffness compensation methods for force-controlled arm supports. In *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2015 IEEE International Conference on*, pages 478–483. IEEE, 2015.
- [60] Joan Lobo-Prat, Peter N Kooren, Arno H A Stienen, Just L Herder, Bart F J M Koopman, and Peter H Veltink. Non-invasive control interfaces for intention detection in active movement-assistive devices. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1) :168, 2014.
- [61] Ines Chihi, Lilia Sidhom, and Oumaima Maamri. Robust Handwriting Estimator from Two Forearm Muscles Activities. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(23) :16213–16219, 2018.
- [62] Ruud G J Meulenbroek and Arnold J W M Thomassen. Stroke-direction preferences in drawing and handwriting. *Human Movement Science*, 10(2-3) :247–270, 1991.
- [63] R D Wessels and L P De Witte. Reliability and validity of the Dutch version of QUEST 2.0 with users of various types of assistive devices. *Disability and rehabilitation*, 25(6) :267–272, 2003.
- [64] Jérémy Danna, Jean-Luc Velay, Alexandre Eusebio, Lauriane Véron-Delor, Tatiana Witjas, Jean-Philippe Azulay, and Serge Pinto. Digitalized spiral drawing in Parkinson’s disease : A tool for evaluating beyond the written trace. *Human movement science*, 2018.
- [65] Manuela Galli, Veronica Cimolin, Giacomo Stella, Maria Francesca De Pandis, Andrea Ancillao, and Claudia Condoluci. Quantitative assessment of drawing tests in children with dyslexia and dysgraphia. *Human movement science*, 2018.
- [66] Philippe Turgeon, Thierry Laliberté, François Routhier, and Alexandre Campeau-lecouers. Preliminary Design of an Active Stabilization Assistive Eating Device for People Living with Movement Disorders. In *ICORR*, page 6, 2019.
- [67] Philippe Turgeon, Michael Dubé, Thierry Laliberté, François Routhier, Philippe Archambault, and Alexandre Campeau-Lecours. Mechanical design of a new assistive eating device for people living with spasticity. *Assistive Technology*, 2019.
- [68] Xin-Jun Liu, Jie Li, and Yanhua Zhou. Kinematic optimal design of a 2-degree-of-freedom 3-parallelgram planar parallel manipulator. *Mechanism and Machine Theory*, 87 :1–17, 2015.

- [69] Ambarish Goswami and Michael A Peshkin. Task-space/joint-space damping transformations for passive redundant manipulators. In *[1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 642–647. IEEE, 1993.

## Chapitre 2

# Preliminary design of a device to assist handwriting in children with movement disorders

### 2.1 Résumé

Cet article présente le développement d'une nouvelle aide technique à l'écriture qui vise à stabiliser la motion des personnes vivant avec des difficultés de mouvement. Plusieurs personnes vivant avec des conditions comme la paralysie cérébrale, la dystrophie musculaire ou la dystonie ont des déficiences aux membres supérieurs (spasticité musculaire, commande motrice non-sélective, faiblesse musculaire ou tremblements) et ne sont pas capable d'écrire ou de dessiner de manière autonome. Le mécanisme proposé est conçu pour être fixé sur une table. Un crayon est attaché au mécanisme en utilisant un porte-crayon qui permet de garder le crayon dans une orientation fixe. L'utilisateur interagit avec l'aide en utilisant une poignée tandis que des amortisseurs mécaniques et de l'inertie contribuent à la stabilisation des mouvements de l'utilisateur. La conception générale du mécanisme est premièrement présentée, suivi par la conception du porte-crayon.

### 2.2 Abstract

This paper presents the development of a new passive assistive handwriting device, which aims to stabilize the motion of people living with movement disorders. Many people living with conditions such as cerebral palsy, stroke, muscular dystrophy or dystonia experience upper limbs impairments (muscle spasticity, unselective motor control, muscle weakness or tremors) and are unable to write or draw on their own. The proposed device is designed to be fixed on a table. A pen is attached to the device using a pen holder, which maintains the pen in a fixed orientation. The user interacts with the device using a handle while mechanical

dampers and inertia contribute to the stabilization of the user's movements. The overall mechanical design of the device is first presented, followed by the design of the pen holder mechanism.

## 2.3 Introduction

Many people living with conditions such as cerebral palsy, stroke, muscular dystrophy or dystonia experience movement disorders to the upper limbs (muscle spasticity, unselective motor control, muscle weakness or tremors) and are unable to write or draw on their own. Children generally engage in motor activities at school [1]. Taking part in motor activities during childhood foster social inclusion. Those who suffer from motor impairments experience difficulties in learning and participating actively. For them, any school task requires more time, and the results seldom reflect the actual potential of the child. This often leads to social and emotional difficulties [1]. Many school activities, such as drawing, mathematics and composing texts, are based on handwriting. Such activities are difficult or impossible to perform for children living with upper limb impairments. Whereas the use of a computer or a tablet might be an appropriate alternative for children living with these impairments, it has been demonstrated that handwriting is favorable to the child's development and learning. In comparison with typing, manual writing enhances memorization [2] and letter recognition [3], and is more efficient for note taking [4]. In addition, handwriting helps in the learning process of children in different aspects such as spelling [5] and understanding math problems if and when they write down their approach or calculations [6]. In addition, children learn letters more easily when they write them down, compared to only being shown the letters [7].

Over the years, different assistive technologies (AT) have been developed for people living with upper limb impairments. Some of them have been specifically designed for writing. For instance, ergonomic pens<sup>1</sup> provide a convenient grasp while anti-tremor gloves<sup>2</sup> reduce hand trembling (*i.e.*, for adults living with Parkinson's disease). Wu *et al.* [8] designed an assistive device supporting the arm of children living with cerebral palsy, to help them draw. Pedemonte *et al.* [9] created a haptic device to help children reproduce a writing pattern. Shire *et al.* [10] used the Clinical Kinematic Assessment Tool (CKAT) to teach children how to move correctly in order to write letters. Assistive robotic arms can also be used to write and draw [11; 12]. Assistive devices like those aforementioned aim to help kids with functional impairments in numerous aspects of their lives that require communication and socialization skills [13]. However, following a review of the commercially available products and the scientific literature, a focus group was conducted with rehabilitation researchers and occupational therapists from Quebec, Canada. It was revealed that many children living

---

1. Penagain. (n.d.) Retrieved Oct. 2018, from <http://penagain.net/>

2. Readi Steadi. (n.d.) Retrieved Oct. 2018, from <https://www.readi-steady.com/>



with various movement disorders, such as dyspraxia, ataxia or spasticity could not write by themselves and that no existing AT was able to meet their needs and help them in that task.

## 2.4 Objectives

The objective of this project is to develop a handwriting assistive device giving the ability to control a pen to children living with movement disorders during voluntary (*i.e.*, ataxia) or involuntary movements (*i.e.*, dystonia), and/or upper limb muscular spasticity that leads to abnormal reflex responses, which complicate movement control. The aim of designing a new device is twofold: i) develop an AT that will stabilize the user's motion and enable him/her to draw and write and ii) simplify the design as much as possible for the device to be affordable and universally accessible. The prototype was developed through an iterative process, in collaboration with researchers in engineering and rehabilitation, and occupational therapists, with a user-centered approach based on Design Thinking [14].

## 2.5 Summary description

The proposed mechanism, which is designed to be mounted on a table, is shown in 2.1. The mechanism has two degrees of freedom (DoF). A pen is attached at the end of the mechanism. The user operates the device by grasping and moving a handle. The orientation of the handle can be adjusted to the user's preference. The device allows moving the pen on the table plane and, as a result of the mechanism design, maintains the handle in a constant orientation. Mechanical inertia and dampers allow stabilization of the user's motion. The device thus assists the user in two different manners: i) the mechanism holds the pen for the user, a task that could prove to be difficult or impossible for some people because of spasticity or upper limb impairments, and ii) inertia and damping stabilize uncoordinated movements (*i.e.*, spasms). Pens of different sizes can be attached to the device thanks to an adaptive pen holder. The sheet is held in place with magnets as the child draws or writes. The mechanical design of the two-DoF mechanism is first presented, followed by the design of the pen holder mechanism.

## 2.6 Mechanism design

This section presents the mechanism design. Figure 2.2 presents three variations of the potential mechanism, in increasing order of complexity, all of which display the same two DoF. The mechanism is inspired by the design of the assistive eating device from Turgeon *et al.* [15; 16].

Figure 2.2a shows a two-DoF mechanism for planar motion using two bars (one for each DoF) and two pivot points (J1 and J2). The mechanism is shown in three different positions.

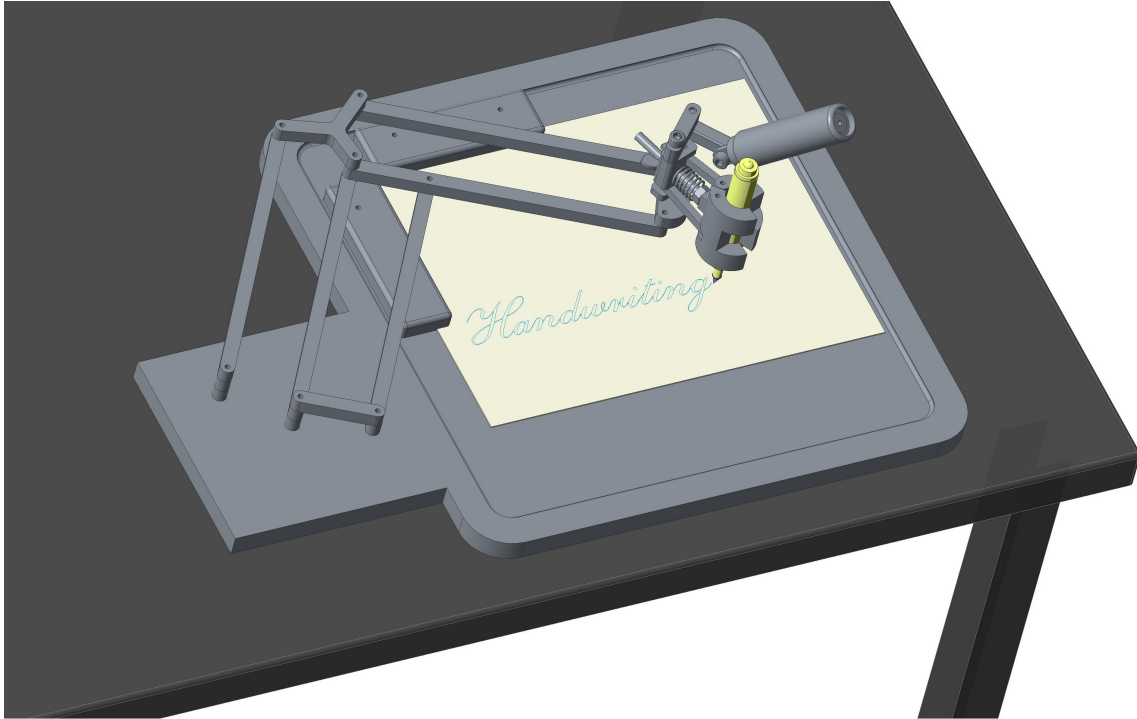


FIGURE 2.1 – Writing assistive device.

Considering this design, the orientation of the handle, which is attached to the end effector, varies depending on the position of the mechanism. This would require users to adapt to this changing orientation while they draw.

To constrain the orientation of the end-effector relative to the base, two parallelograms are added on each bar, as displayed in Figure 2.2b. This allows for the mechanism to still have two DoF, while the orientation of the handle remains constant relative to the base. A triangle links the two parallelograms at J2.

A damper is added at each joint to dampen (J1 and J2). The damper at J2, however, has to be supported by the first links, which should be very stiff in order to compensate for the weight of the damper.

In order to have a mechanism that is lighter and more compact, the second damper is reported to the base, thanks to the use of a third parallelogram as seen in Figure 2.2c. Therefore, the two joints (J1 and J2) can be controlled directly from the base of the mechanism. The bars length (25cm) was chosen so that the mechanism covers the entire surface area of a legal size sheet of paper (both portrait and landscape).

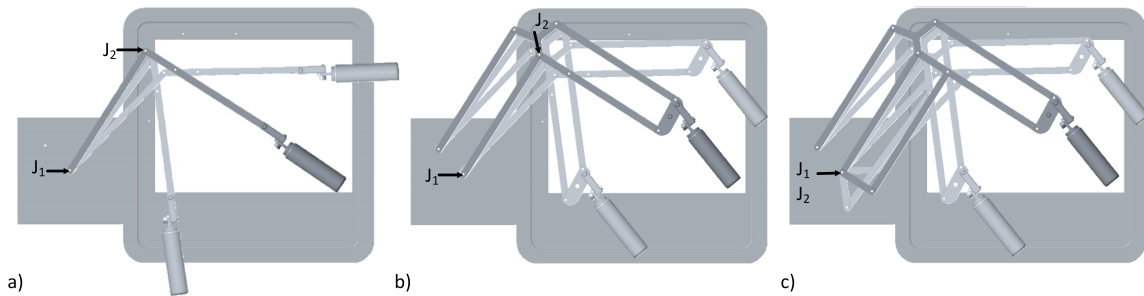


FIGURE 2.2 – Development of the mechanism. a) 2-bar mechanism where the end-effector orientation depends on the angles of the two bars. b) 2 parallelograms are added so the end-effector stays in the same orientation with respect to the base in all positions. c) A third parallelogram is added for the second rotation to be controlled at the base of the mechanism.

## 2.7 Pen holder mechanism

The pen is attached at the end of the mechanism and is maintained in a fixed orientation. In the case of a basic design, a simple hole with a set screw would hold the pen in place. However, this would prevent using pens of different sizes. Thus, we aimed to design a mechanism that would firmly hold the pen while being adjustable to many pen sizes. The mechanism can adapt to pen diameters from 8 mm to 20 mm (which is the range of regular pen sizes found on the market). The mechanism that holds the pen can be adjusted quickly and easily, while also providing a tight grip on the pen. The inspiration of the proposed mechanism comes from the grapples designed to grab different sizes of trees. A 2-finger gripper with circular distal members grabs the pen. That motion is initialized with a screw moving on a shaft that activates the proximal members, as shown in Figure 2.3a. As these links move, the distal members (*i.e.*, the fingers) close on the pen. The closed mechanism is displayed in Figure 2.3b. In Figure 2.3c, a small spring is shown, which allows the mechanism to open automatically when the screw is released.

The pen holder mechanism is mounted on the bar at the end of the 2-DoF mechanism, on the last link of the parallelogram, near the handle. The orientation of the pen can be adjusted with a simple screw. It is preferable to mount the handle directly on the pen mechanism since it needs to be adjusted with respect to the position of the pen. Figure 2.4 displays the mounting mechanism. The handle is linked to the pen holder using a three-bar mechanism (K1, K2 and K3), which allows three adjustments. The three bars are identified on the figure as K1, K2 and K3. Thus, the position and the orientation of the handle can be adjusted for every user. All the adjustments can be made with simple screws.

The handle can be replaced with custom and other types of handles.

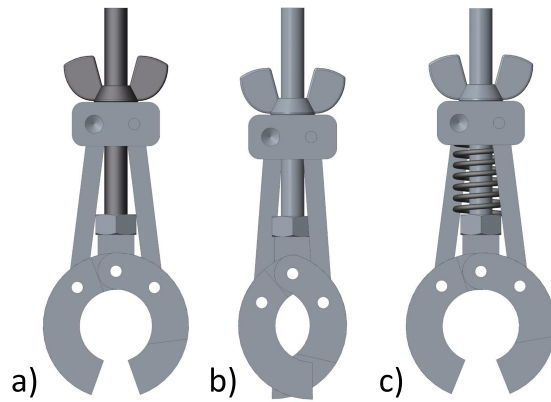


FIGURE 2.3 – Pen holder mechanism. a) Dark grey part shows the adjustment mechanism depending on the pen size. b) The mechanism in closed position. c) The spring shown in dark grey is added for the mechanism to automatically open when pressure is released around the pen.

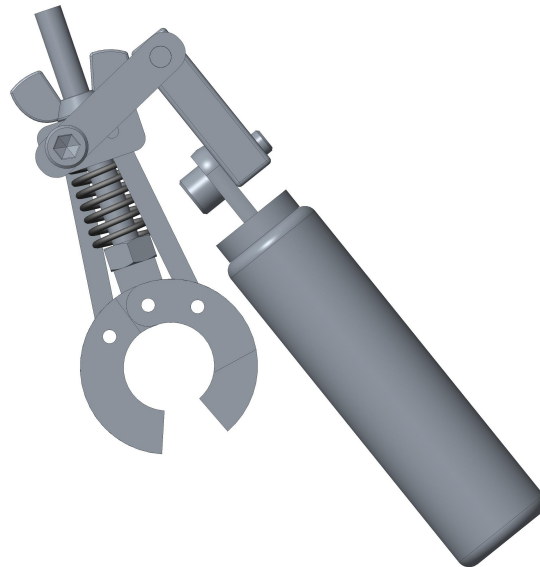


FIGURE 2.4 – Handle on the pen holder mechanism. The 3-adjustment links are shown.

## 2.8 Discussion

In this paper, the prototype of a preliminary handwriting assistive device was presented. The objective is to help children living with movement disorders to write and draw in a learning context. Preliminary discussions with occupational therapists revealed that the device has the potential to help children and adolescents write or draw by themselves. Future work will consist in evaluating the prototype with potential users in order to assess its efficiency in the writing and drawing process.

## 2.9 Conclusion

This paper has presented a 2-DoF handwriting mechanism designed to assist children living with movement disorders in writing and drawing. The mechanism includes a 2-DoF planar mechanism that keeps the end effector in the same orientation with respect to the base, and a pen holder mechanism that holds variable size pens perpendicular to the work plane with an adjustable handle. The objectives were the design of an AT that stabilizes the user's motion during handwriting and drawing while simplifying the concept to render the device affordable and accessible. In the short term, future work includes the manufacturing of the device and clinical validation with potential users.

## 2.10 Bibliographie

- [1] Cheryl Missiuna, Lisa Rivard, and Nancy Pollock. They're Bright but Can't Write : Developmental Coordination Disorder in School Aged Children. *Teaching Exceptional Children Plus*, 1(1) :n1, 2004.
- [2] Timothy J Smoker, Carrie E Murphy, and Alison K Rockwell. Comparing memory for handwriting versus typing. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 53, pages 1744–1747. SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2009.
- [3] Marieke Longcamp, Marie-Thérèse Zerbato-Poudou, and Jean-Luc Velay. The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta psychologica*, 119(1) :67–79, 2005.
- [4] Pam A Mueller and Daniel M Oppenheimer. The pen is mightier than the keyboard : Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological science*, 25(6) :1159–1168, 2014.
- [5] Virginie Pontart, Christel Bidet-Ildei, Eric Lambert, Pauline Morisset, Lisa Flouret, and Denis Alamargot. Influence of handwriting skills during spelling in primary and lower secondary grades. *Frontiers in psychology*, 4 :818, 2013.
- [6] Noraini Idris. Enhancing students' understanding in calculus trough writing. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 4(1) :36–55, 2009.
- [7] Karin H James and Thea P Atwood. The role of sensorimotor learning in the perception of letter-like forms : Tracking the causes of neural specialization for letters. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1) :91–110, 2009.
- [8] Fong-Gong Wu, Eva Chang, Rain Chen, and Chien-Hsu Chen. Assistive drawing device design for cerebral palsy children. *Technology and Disability*, 15(4) :239–246, 2003.

- [9] Nicolo Pedemonte, Thierry Laliberté, and Clément Gosselin. A bidirectional haptic device for the training and assessment of handwriting capabilities. In *World Haptics Conference (WHC), 2013*, pages 599–604. IEEE, 2013.
- [10] Katy A Shire, Liam J B Hill, Winona Snapp-Childs, Geoffrey P Bingham, Georgios K Kountouriotis, Sally Barber, and Mark Mon-Williams. Robot Guided ‘Pen Skill’ Training in Children with Motor Difficulties. *PloS one*, 11(3) :e0151354, 2016.
- [11] Alexandre Campeau-Lecours, Hugo Lamontagne, Simon Latour, Philippe Fauteux, Véronique Maheu, François Boucher, Charles Deguire, and Louis-Joseph Caron L’Ecuyer. Kinova modular robot arms for service robotics applications. In *Rapid Automation : Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, pages 693–719. IGI Global, 2019.
- [12] A Lebrasseur, J Lettre, F Routhier, P Archambault, and A Campeau-Lecours. Assistive robotic device : evaluation of intelligent algorithms. *Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA) Conference*, 2018.
- [13] Stacey Henderson, Heather Skelton, and Peter Rosenbaum. Assistive devices for children with functional impairments : impact on child and caregiver function. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(2) :89–98, 2008.
- [14] Tim Brown. Change by design. pages 1–5, 2009.
- [15] Philippe Turgeon, Thierry Laliberté, François Routhier, and Alexandre Campeau-Lecours. Preliminary Design of an Active Stabilization Assistive Eating Device for People Living with Movement Disorders. In *ICORR*, page 6, 2019.
- [16] Philippe Turgeon, Michael Dubé, Thierry Laliberté, François Routhier, Philippe Archambault, and Alexandre Campeau-Lecours. Mechanical design of a new assistive eating device for people living with spasticity. *Assistive Technology*, 2019.

## Chapitre 3

# Analyse et optimisation du mécanisme

Dans le but d'obtenir un mécanisme le plus efficace possible, plusieurs architectures ont été analysées. Le but est d'obtenir un mécanisme capable de couvrir toute la surface d'une feuille sans croiser de singularité et en gardant l'effecteur dans une orientation constante. De plus, les performances du mécanisme sont intéressantes puisqu'il faut bien comprendre la réaction en tout point ainsi que l'impact de l'ajout d'amortisseurs. Ce chapitre présente le développement effectué pour obtenir le mécanisme final ainsi que les différentes options envisagées.

### 3.1 Choix du mécanisme

Le mécanisme voulu doit avoir au moins deux degrés de liberté (DDL) qui permettent à l'effecteur de se déplacer librement dans le plan. Pour ce faire, deux types de liaisons peuvent être utilisées :

- Les liaisons prismatiques (P) qui permettent un mouvement linéaire. Un exemple de ce type de liaison est un vérin dont l'effecteur peut se déplacer linéairement. La course d'un tel type de mécanisme est limitée. Il y a donc une longueur minimale et une longueur maximale pour la liaison complète qui représente aussi les singularités du mécanisme. Il y a aussi une singularité lorsqu'une force est appliquée de manière perpendiculaire à l'effecteur.
- Les liaisons rotoïdes (R) qui permettent un mouvement angulaire. Un exemple de ce type de liaison est un pivot de porte. La longueur du bras de levier est fixe et l'angle entre les deux parties de la liaison peut varier. En fonction de la conception, ce type de liaison peut avoir une amplitude en rotation fixe ou infinie. Les singularités se produisent pour ce type de liaison lorsque les deux parties forment une droite, c'est-à-dire lorsque l'angle entre les deux est de 0 ou 180 degrés. Ainsi, on ne peut pas prévoir la direction que prendra la liaison lorsqu'elle est déplacée de façon infinitésimale par

Configurations	Orientation à l'effecteur par rapport à l'utilisateur	Risques de singularité	Mécanisme gênant à l'effecteur
PP	Fixe	Élevés	Oui
RP	Changeante	Élevés	Oui
RR	Changeante	Faibles	Non

TABLE 3.1 – Table des caractéristiques de chaque combinaison de mécanisme.

rapport à ce point.

Pour simplifier le mécanisme, seulement deux DDL seront utilisés pour analyser les choix possibles. Dans le cas actuel, les trois combinaisons possibles de ces types de liaison sont analysées dans la table 3.1. La première option comprend deux liaisons prismatiques. Ceci permet de garder l'effecteur dans une orientation constante en tout point, mais les risques de singularités sont élevés, principalement à cause des limites des joints. En considérant que les liaisons ont des dimensions choisies en fonction de l'espace de travail à couvrir, les limites des joints sont rapidement atteintes. De plus, comme l'effecteur se déplace le long d'une liaison, le mécanisme risque de gêner les mouvements à l'effecteur ; l'effecteur risque d'être plus difficile à atteindre en raison de la proximité de la liaison. La seconde option est un mécanisme hybride comportant une liaison prismatique et une liaison rotoïde. Afin de couvrir toute la surface voulue, il faudrait que les liaisons soient dans l'ordre RP. Cette combinaison comporte un effecteur qui change d'orientation en fonction de la position dans le plan en raison de la liaison rotoïde au début de la chaîne ainsi qu'un risque élevé de singularité pour les mêmes raisons que le mécanisme précédant. Il est tout aussi encombrant à l'effecteur. La troisième option apporte une architecture différente. En combinant deux liaisons rotoïdes, il est possible de couvrir toute la surface de travail, mais l'orientation de l'effecteur change en fonction de la position dans le plan. Cette configuration permet de réduire significativement les risques de singularité puisqu'il est facile de concevoir un tel mécanisme en utilisant seulement une partie de l'espace de travail possible et ainsi d'éviter les singularités. Le fait d'avoir un effecteur fixé au bout du mécanisme permet d'obtenir un résultat moins encombrant pour l'utilisateur puisqu'il n'y a qu'une seule barre qui lie l'effecteur au mécanisme.

La troisième option semble très intéressante, principalement parce qu'elle réduit les possibilités d'obtenir une singularité et que la liaison entre l'effecteur et le mécanisme est moins volumineuse que pour les autres solutions. En effet, l'effecteur lié à l'extrémité de la barre de la deuxième rotation seulement au lieu de se déplacer le long d'un rail. Afin de limiter la rotation à l'effecteur, il est possible d'ajouter un parallélogramme à chaque barre du mécanisme afin de la bloquer. Ceci permet de garder tous les avantages d'un mécanisme RR,



mais aussi d'y ajouter le principal bénéfice des mécanismes PP, c'est-à-dire l'orientation fixe de l'effecteur. La Figure 2.2b permet de voir l'effet d'un tel changement sur les mouvements du mécanisme.

Considérant que des amortisseurs devront être ajoutés à chaque joint, la possibilité d'ajouter un troisième parallélogramme comme le montre à Figure 2.2c devient intéressante pour reporter le contrôle de la seconde rotation à la base. Dans un mécanisme comprenant seulement deux parallélogrammes, le contrôle de la seconde rotation se fait à la jonction entre la première et la seconde barre. Le premier joint doit donc soutenir le mécanisme complet en plus de cet amortisseur. Le premier amortisseur aura aussi des impacts sur ce que ressent le second amortisseur si ceux-ci sont montés en série parce que le second angle dépend de la différence d'angle entre la première barre et la seconde. Pour des angles en parallèle, les deux amortisseurs seraient indépendants en raison de leur configuration comme il sera vu dans la section suivante. La configuration la plus intéressante est donc celle comprenant un mécanisme RR et trois parallélogrammes. L'impact d'un assemblage en série ou en parallèle ainsi que l'effet de la longueur des barres sera exploré plus en profondeur dans la section suivante.

## 3.2 Caractérisation du mécanisme dans le plan

Maintenant que l'architecture du mécanisme est choisie, il faut regarder plus en détails les réactions d'un tel mécanisme en fonction des différents paramètres qui peuvent être modifiés. Pour simplifier les calculs, la friction ainsi que la gravité seront négligées dans les calculs. Le premier effet qui peut être observé est l'impact d'un montage en série ou en parallèle des joints. La Figure 3.1 montre un exemple de calcul des angles pour les deux possibilités. Ceci fait référence au repère utilisé pour chaque articulation afin de déterminer son orientation. Si les deux repères utilisés sont parallèles l'un à l'autre ainsi qu'au système de référence global du mécanisme, les angles seront alors exprimés en parallèle. Les valeurs obtenues pour chaque articulation ne dépendent donc pas de la configuration des angles proximaux dans le mécanisme. Pour les systèmes avec des angles exprimés en série, les repères dépendent des autres repères dans le mécanisme. La première articulation est calculée par rapport à son repère qui est parallèle au système de référence global du mécanisme. La seconde référence est quant à elle exprimée dans un repère qui a subi une rotation par rapport au repère de la première articulation. Cette rotation est la même que la valeur de l'angle de la première rotation.

Dans le cas qui nous intéresse, il est possible d'utiliser les deux conventions (angles en série ou en parallèle) pour analyser les angles. En considérant que des amortisseurs seront ajoutés par la suite au mécanisme, il est intéressant de voir l'effet de ses deux montages sur le comportement du mécanisme. Les deux configurations sont possibles avec l'architecture ac-

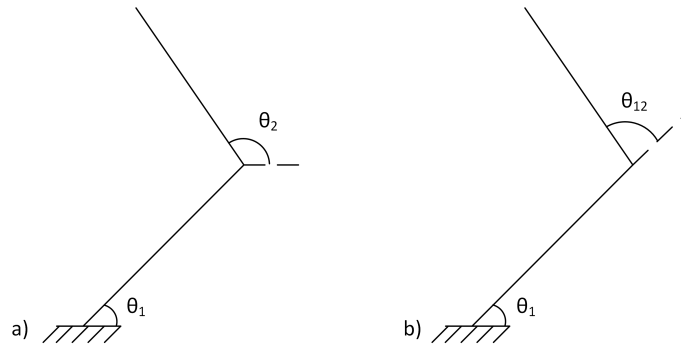


FIGURE 3.1 – Différence pour le calcul des angles a) en parallèle et b) en série.

tuelle ; la seule différence est le positionnement du second amortisseur afin qu'il soit en série ou en parallèle.

Afin de caractériser les deux configurations, l'inverse du conditionnement de la Jacobienne sera utilisé. Le conditionnement est une méthode d'analyse numérique qui permet de savoir si la solution d'un problème sera affectée par une minime variation des valeurs d'entrées. Si une telle minime variation produit un impact significatif sur les résultats, le conditionnement sera élevé. Au contraire, si une minime variation des valeurs d'entrées ne produit pas de changement majeur dans les résultats, le conditionnement tendra vers 1 et le problème sera dit « bien conditionné ». Pour simplifier la représentation des résultats, l'inverse de ce conditionnement est utilisé. Les résultats seront donc entre 0 et 1 et les chiffres les plus grands représenteront les situations où la matrice est dite bien conditionnée.

### 3.2.1 Cas avec les angles en parallèle

Les équations du mouvement pour positionner le mécanisme dans le plan en fonction des angles des joints en parallèle sont déterminées directement :

$$x = r_1 \cos(\theta_1) + r_2 \cos(\theta_2) \quad (3.1)$$

$$y = r_1 \sin(\theta_1) + r_2 \sin(\theta_2) \quad (3.2)$$

À partir de ses équations, il est possible d'isoler  $\theta_1$  et  $\theta_2$  d'obtenir des équations dépendant seulement de  $x$  et de  $y$ . Celles-ci peuvent être dérivées pour obtenir la jacobienne des coordonnées linéaires. Cette matrice peut être utilisée pour calculer le conditionnement et l'inverse de celui-ci pour toute la plage d'utilisation du mécanisme. Cette méthode n'est cependant pas préconisée parce que les équations sont lourdes et l'obtention des résultats nécessite d'évaluer la jacobienne et son conditionnement en plusieurs points. La lourdeur de ce calcul fait en sorte qu'il est long et fastidieux d'obtenir des résultats et que ceux-ci ne peuvent être vérifiés de manière analytique.

Au lieu de préconiser la méthode directe, une approche plus simple est favorisée. Avec la configuration la plus simple du mécanisme (deux barres de même longueur), c'est-à-dire lorsque  $r_1 = r_2$ , il est possible d'obtenir les angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  en fonction de la distance de l'effecteur par rapport à la base. On prend ici comme hypothèse que cette configuration linéaire peut être reproduite à 360 degrés autour de la base. Ainsi, comme le montre la Figure 3.2, il est possible d'obtenir une relation directe. Sachant que le mécanisme est symétrique par rapport au deuxième pivot en tout temps, une seule relation permet de trouver les deux angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  en même temps. On peut obtenir l'équation suivante :

$$\begin{aligned}
 x &= r \sin(\theta_1) + r \sin(\theta_2) \\
 &= r \sin(\theta_1) + r \sin(180 - \theta_1) \\
 &= 2r \sin(\theta_1)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

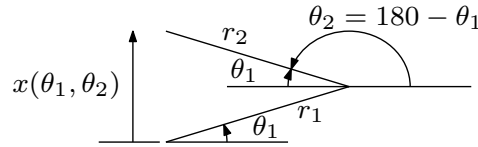


FIGURE 3.2 – Angles en parallèle des différentes barres en fonction de la position de l'effecteur par rapport à la base.

L'équation (3.3) permet de caractériser la position de l'effecteur par rapport à un seul angle. Il est possible de trouver le deuxième angle avec l'équation de la Figure 3.2,  $\theta_2 = 180 - \theta_1$ . Avec la position actuelle des barres, seule la direction en  $x$  est nécessaire pour résoudre le problème. Cette simplification est possible étant donné que le mécanisme est symétrique, c'est-à-dire que les barres ont des longueurs égales. On peut considérer que cette distance  $x$  est en réalité le rayon atteignable complet du mécanisme. La jacobienne est calculée à l'équation (3.4).

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} -r \sin(\theta_1) & -r \sin(\theta_2) \\ r \cos(\theta_1) & r \cos(\theta_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r \sin(\theta_1) & -r \sin(\theta_1 - 180) \\ r \cos(\theta_1) & r \cos(\theta_1 - 180) \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

Avec la matrice jacobienne trouvée dans l'équation (3.4), il est possible de calculer le conditionnement et l'inverse de celui-ci. Les valeurs de l'inverse du conditionnement exprimées en fonction de la position de l'effecteur par rapport à la base sont présentées à la Figure 3.3 pour différentes longueurs totales de mécanisme.

Les droites de la Figure 3.3 permettent de voir le comportement global de l'inverse du conditionnement. En regardant chaque courbe, il est possible de constater que la courbe créée ressemble à un triangle. Au début, les performances du mécanisme ne sont pas bonnes et

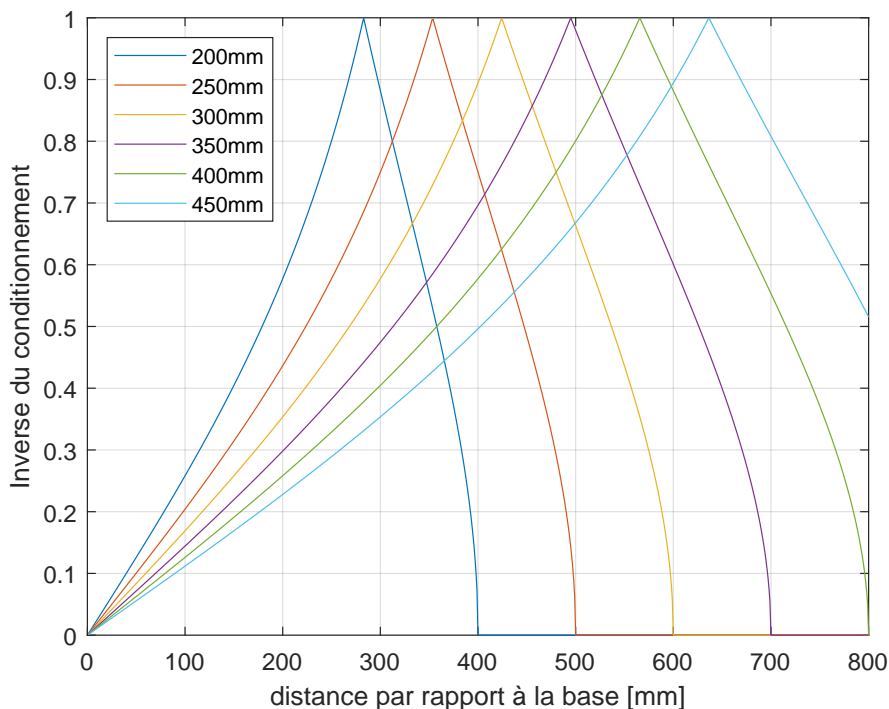


FIGURE 3.3 – Inverse du conditionnement en fonction de la distance de l’effecteur par rapport à la base pour différentes paires de longueurs de barres possibles avec les angles en parallèle.

plus on s’approche de la distance équivalente à  $\sqrt{2}r$  où  $r$  est la longueur de chaque barre, plus on tend vers une performance optimale. Passé ce point, la courbe redescend rapidement pour atteindre 0. Le fait de changer la longueur des barres ne modifie pas la courbe autrement qu’en l’étirant le long de l’axe des abscisses. Le point maximal se situe toujours à une distance de  $(\sqrt{2}/2)x$ .

### 3.2.2 Cas avec les angles en série

La même démarche peut être faite pour le cas avec des angles en série, c’est-à-dire où le contrôle de la deuxième rotation est fait par rapport au premier angle contrairement à la base comme précédemment. Il est possible de trouver la relation entre les deux angles avec la Figure 3.4.

Ainsi, il est possible de trouver la relation entre  $\theta_1$  et  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{12} = \theta_2 - \theta_1 = 180 - \theta_1 - \theta_1 = 180 - 2\theta_1$ . Avec cette relation et l’équation (3.1) modifiée pour  $\theta_{12}$ , il est possible d’obtenir la matrice jacobienne :

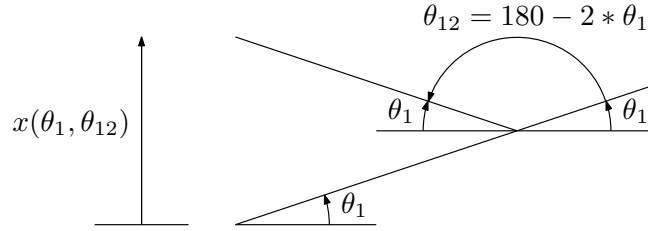


FIGURE 3.4 – Angles en série des différentes barres en fonction de la position de l’effecteur par rapport à la base.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{J} &= \begin{bmatrix} -r \sin(\theta_1) - r \sin(\theta_1 + \theta_{12}) & -r \sin(\theta_1 + \theta_{12}) \\ r \cos(\theta_1) + r \cos(\theta_1 + \theta_{12}) & r \cos(\theta_1 + \theta_{12}) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -r \sin(\theta_1) - r \sin(180 - \theta_1) & -r \sin(180 - \theta_1) \\ r \cos(\theta_1) + r \cos(180 - \theta_1) & r \cos(180 - \theta_1) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -r \sin(\theta_1) - r \sin(\theta_1) & -r \sin(\theta_1) \\ r \cos(\theta_1) + r \cos(\theta_1) & r \cos(\theta_1) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -2r \sin(\theta_1) & -r \sin(\theta_1) \\ 2r \cos(\theta_1) & r \cos(\theta_1) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

La Figure 3.5 permet de voir la différence sur l’inverse du conditionnement. Le point maximal atteint par chaque courbe sur la Figure 3.3 est de 1 tandis qu’il est d’environ 0.62 pour la Figure 3.5. Ce point n’est pas positionné au même endroit sur les graphiques non plus. Dans le premier cas, il est à  $\sqrt{2}x$  tandis qu’il est plus autour de  $0.4x$  dans la deuxième situation. La courbe a aussi un comportement différent. Au lieu de monter progressivement et de redescendre rapidement, le cas avec les angles en série monte plus promptement, s’aplanit au sommet et redescend progressivement. En comparant ainsi les courbes, un contrôle des deux angles en parallèle semble favorable.

### 3.2.3 Impact de la longueur des barres

Maintenant que les comportements généraux des mécanismes avec des barres de longueur égale ont été observés, il est pertinent de voir l’impact sur les mêmes courbes lorsque le ratio de la longueur des barres est modifié. Pour faire cette généralisation, des relations trigonométriques sont utilisées. Dans le cas des angles en parallèle, le calcul est fait avec les deux angles indépendants :  $\theta_1$  et  $\theta_2$ . La Figure 3.6 montre les différents angles utiles pour la résolution de ce problème.

Avec la loi des cosinus, il est possible de trouver l’angle  $\alpha$ , comme le montre l’équation 3.6. La relation de l’équation 3.7 permet de jumeler les deux équations pour trouver le second angle tel que présenté à l’équation 3.8.

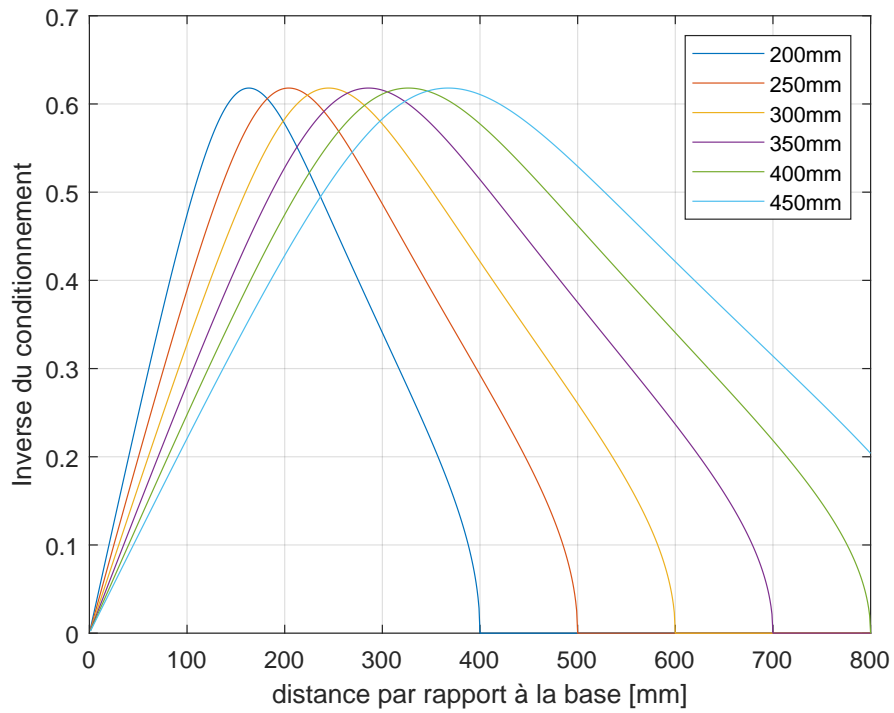


FIGURE 3.5 – Inverse du conditionnement en fonction de la distance de l’effecteur par rapport à la base pour différentes paires de longueurs de barres possibles avec les angles en série.

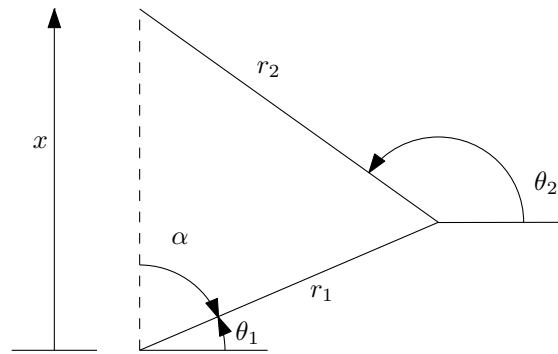


FIGURE 3.6 – Angles des différentes barres en fonction de la position de l’effecteur par rapport à la base et des longueurs des barres.

$$r_2^2 = r_1^2 + x^2 - 2r_1x\cos(\alpha) \tag{3.6}$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{r_1^2 + x^2}{2r_1x}\right)$$

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha \tag{3.7}$$

$$r_2 \sin(\theta_2) = x - r_1 \sin(\theta_1)$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{x - r_1 \sin(\theta_1)}{r_2}\right) \quad (3.8)$$

Une fois que les angles importants sont trouvés, il est possible de refaire le calcul de la jacobienne, de son conditionnement et de l'inverse de celui-ci. En faisant varier les longueurs de barres dans un ratio de la seconde barre sur la première barre allant de 0.5 à 1.9, on obtient le graphique 3.7. La longueur totale a été normalisée pour que toutes les combinaisons possibles couvrent toute la surface de travail.

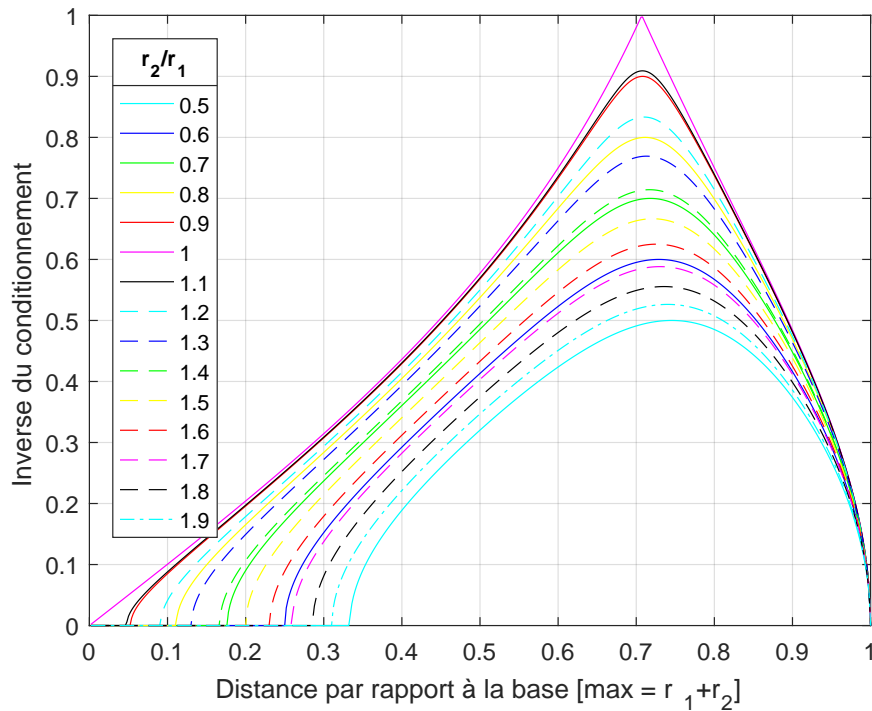


FIGURE 3.7 – Inverse du conditionnement pour différents ratios de longueurs de barres avec les angles en parallèle.

On peut voir que le meilleur résultat est obtenu lorsque les deux barres sont égales. Il n'y a pas de différence si la première barre est la plus courte ou la plus longue pour les résultats suivants; plus le ratio est proche de 1, meilleur sera le résultat et plus le ratio s'en éloigne, moins bonne sera la performance de l'inverse du conditionnement. Les courbes ont des comportements similaires, mais les principales différences sont au niveau du point maximal de la courbe qui est atteint à une distance similaire de la base dans chaque cas et la plage de travail admissible qui diminue lorsque les ratios s'éloignent de 1.

La même méthode peut être faite pour obtenir des résultats similaires avec les angles en série. L'angle  $\theta_{12}$  peut facilement être trouvé en faisant l'opération suivante :  $\theta_{12} = \theta_2 - \theta_1$ .

Les résultats ainsi obtenus sont présentés à la Figure 3.8.

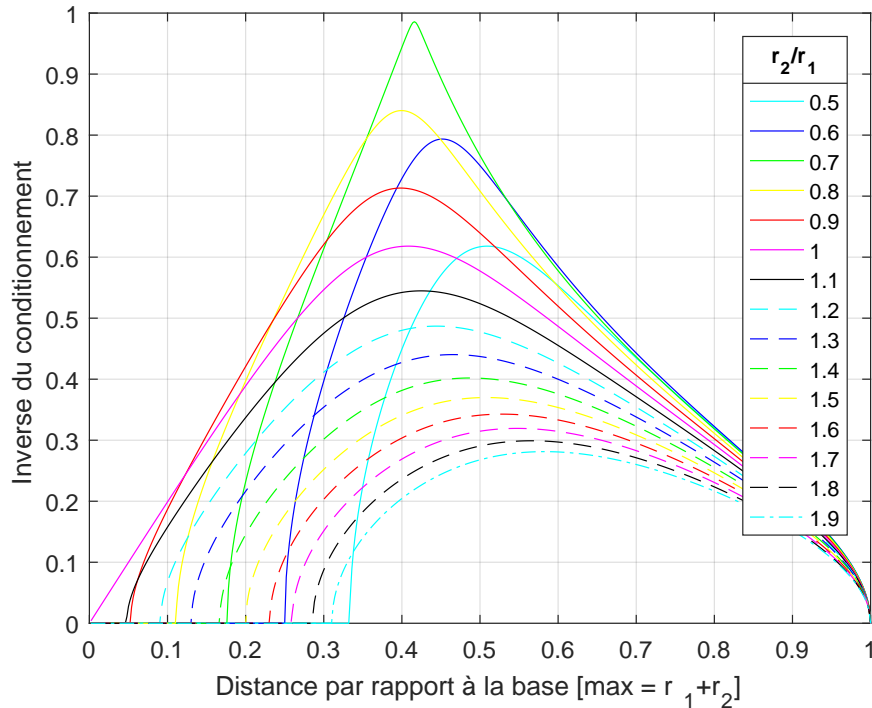


FIGURE 3.8 – Inverse du conditionnement pour différents ratios de longueurs de barres avec les angles en série

Cette figure permet d’observer un comportement différent de la figure précédente. Le maximum est atteint lorsque le ratio entre les barres est de 0.7. Si plus de courbes étaient affichées, le maximum serait à 0.707, soit  $\sqrt{2}/2$ . De plus, les courbes ne sont pas superposées comme pour le cas avec les angles en parallèle. Bien que les résultats diminuent au fur et à mesure qu’on s’éloigne du ratio de 0.707, les sommets ne sont pas tous au même endroit. Pour les ratios plus petits que le ratio idéal, on obtient un sommet beaucoup plus prononcé vers la droite. Pour les ratios plus grands que le ratio idéal, les sommets sont plus alignés et tendent à se déplacer progressivement vers la droite. Les sommets de chaque courbe descendent plus rapidement vers un petit inverse du conditionnement que les cas en parallèle.

Ainsi, les caractéristiques qui permettent d’obtenir le mécanisme avec les meilleures performances sont des barres de longueur égale avec des angles en parallèle. En comparant des deux situations avec le meilleur conditionnement, il est possible de constater que le montage avec les angles en parallèle permet de couvrir une plus grande plage avec un inverse de conditionnement supérieur à 0.5. Le critère de l’inverse du conditionnement supérieur à 0.5 est arbitraire, mais suggère que le mécanisme est bien conditionné pour tous les points supérieurs à cette limite.



### 3.3 Relation entre les moments à la base et les forces à l'effecteur

Les développements effectués jusqu'à présent ont permis de faire ressortir la configuration qui semble la plus optimale : un mécanisme avec deux barres de longueurs égales et des angles en parallèle. C'est ainsi qu'il est possible d'atteindre un inverse de conditionnement de 1 et une plage maximale d'utilisation avec des valeurs supérieures à 0.5. Cette plage optimale est aussi relativement loin de la base, ce qui permet un meilleur contrôle dans le cas présent avec la feuille positionnée à côté du mécanisme. Les longueurs des barres devront donc être choisies en conséquence afin de maximiser l'efficacité du mécanisme au-dessus de la feuille de travail.

Dans cette section, la relation entre les moments à la base du mécanisme et les forces ressenties à l'effecteur est mise en valeur. Le but de cette analyse est de mieux comprendre l'impact d'un mauvais conditionnement sur la réaction du mécanisme. La relation entre les deux termes est la matrice jacobienne, comme le montre l'équation 3.9 :  $\omega$  est le vecteur représentant les couples appliqués à la base et  $\tau$  est le vecteur des efforts de l'effecteur sur l'environnement.

$$\vec{\omega} = \mathbf{J}^{-T} \vec{\tau} \quad (3.9)$$

L'équation précédente est utilisée pour calculer les forces résultantes à l'effecteur lorsque des moments précis sont appliqués à la base. Pour mieux comprendre le comportement à l'effecteur, des moments sont appliqués à la base en variant les valeurs autant pour  $\theta_1$  que  $\theta_2$ . Pour faciliter la représentation, seules quelques valeurs sont choisies. Les différentes combinaisons de couples  $(\tau_1, \tau_2)$  analysés sont représentées ci-dessous en Nm.

$$\begin{array}{cccc} (-1, 1) & (-0.5, 1) & (0, 1) & (0.5, 1) \\ (1, 1) & (1, 0.5) & (1, 0) & (1, -0.5) \\ (1, -1) & (0.5, -1) & (0, -1) & (-0.5, -1) \\ (-1, -1) & (-1, -0.5) & (-1, 0) & (-1, 0.5) \end{array}$$

Ces valeurs forment un carré dans le plan des couples ; un carré de 2 Nm par 2 Nm centré à l'origine.

Les résultats sont exprimés de deux façons. Des droites représentant les forces résultantes sont premièrement ajoutées sur un graphique de l'inverse du conditionnement pour représenter le lien entre les deux éléments avec les vecteurs représentant un seul couple appliqué mis en évidence. Ensuite le contour formé par ces vecteurs est représenté sur un graphique montrant le positionnement du robot à chaque endroit où le calcul de force est effectué. Pour simplifier la représentation, les forces résultantes sont calculées à cinq positions seulement,

la première à une distance représentant 0.1 de la distance totale, une à 0.5, une à 0.707, une à 0.875 et une à 1. Les Figures 3.9 et 3.10 montrent les résultats lorsque la configuration en parallèle est utilisée. Les résultats des forces ont été amplifiés de manière proportionnelle afin de mieux les distinguer sur le graphique.

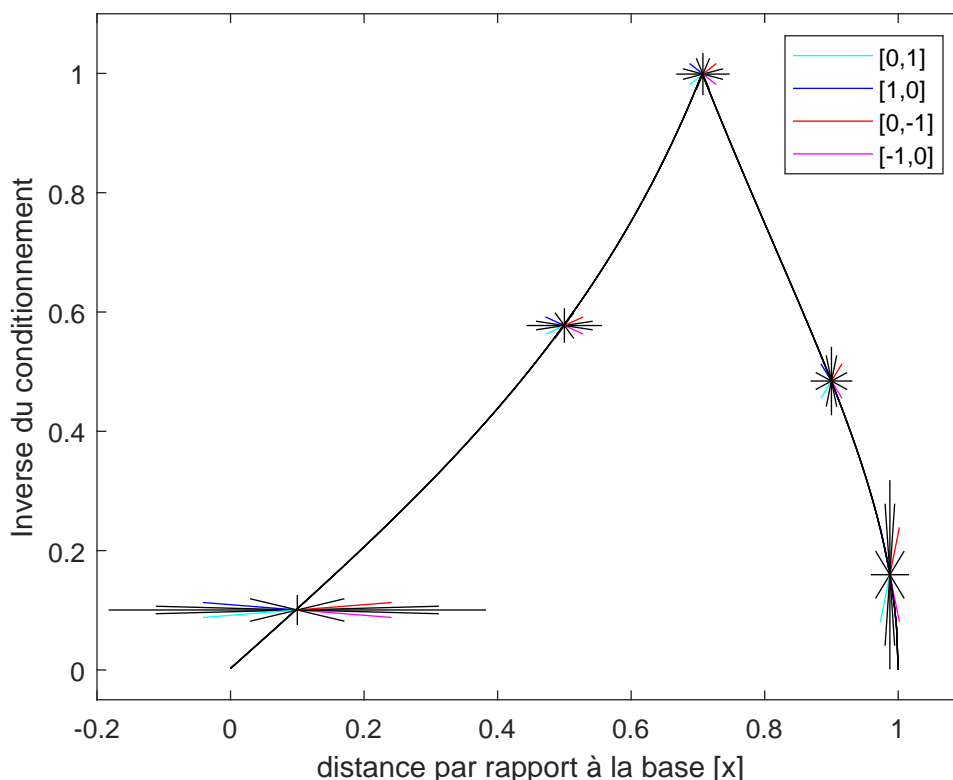


FIGURE 3.9 – Inverse du conditionnement de la matrice avec les forces à l'effecteur pour des couples donnés à des positions précises avec les angles en parallèle.

Les résultats obtenus dans les figures permettent de voir que les forces à l'effecteur ne sont pas du même ordre de grandeur dans les deux directions lorsque le mécanisme a un mauvais conditionnement. Ainsi, plus l'inverse du conditionnement est élevé, plus les forces sont de grandeurs similaires. Les extrémités de l'espace atteignable font ressentir des forces avec des ordres de grandeur très différents, faisant ainsi ressentir à l'utilisateur que les forces sont principalement dans une direction. Ce comportement n'est pas souhaitable lorsque des amortisseurs seront ajoutés. Il faut donc prendre en considération cette variation dans la conception du mécanisme amorti.

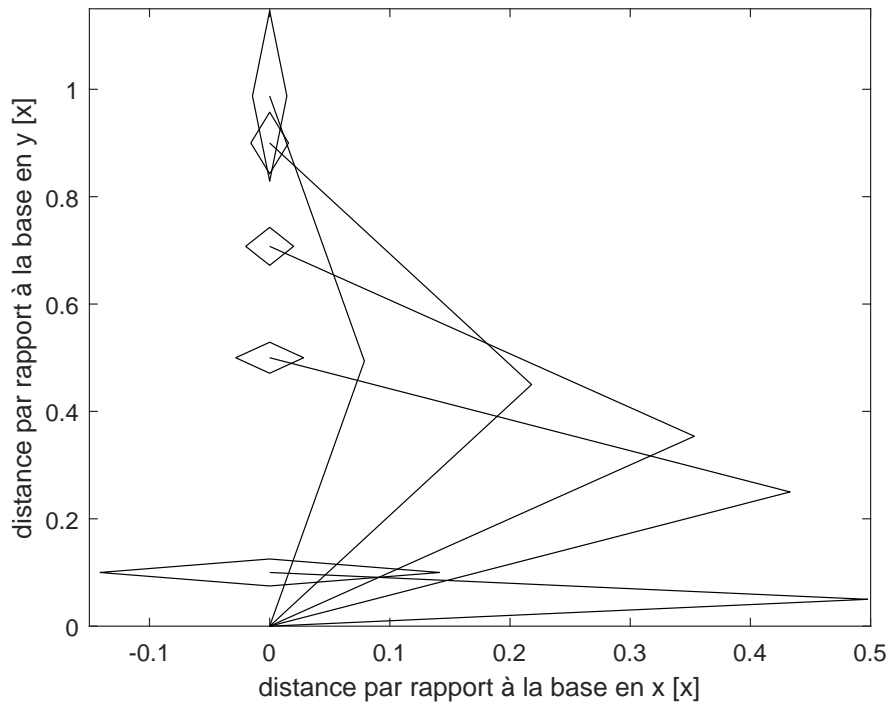


FIGURE 3.10 – Bras du robot positionné dans le plan avec les forces maximales à l’effecteur en fonction des couples donnés (représentées par le losange) à des positions précises avec les angles en parallèle.

### 3.4 Amortissement angulaire et amortissement linéaire

Comme il a été mentionné dans les sections précédentes, une partie du but est de caractériser l’amortissement linéaire en fonction des amortisseurs mécaniques angulaires. L’inverse du conditionnement donne une bonne idée de la longueur des barres à utiliser ainsi que la configuration en série ou en parallèle des amortisseurs. Il reste à caractériser l’amortissement dans le plan en fonction de la position de l’effecteur. En effet, puisque des amortisseurs angulaires sont utilisés, il se pourrait que la réaction du mécanisme ne soit pas dans le même sens que la force appliquée. Les calculs effectués ici permettront de mieux comprendre ce phénomène et aussi de faire un lien entre les calculs de couples et de forces effectués dans la section précédente.

En utilisant la jacobienne qui permet de passer des coordonnées angulaires aux coordonnées linéaires, ses propriétés ainsi que la matrice d’amortissement angulaire, il est possible d’obtenir une relation pour déterminer la matrice d’amortissement linéaire, comme présentée dans l’équation 3.10.

$$\mathbf{D}_l = \mathbf{J}^{-T} \mathbf{D}_a \mathbf{J}^{-1} \quad (3.10)$$

Dans cette équation,  $\mathbf{D}_l$  est la matrice d'amortissement linéaire, la jacobienne est celle calculée précédemment et  $\mathbf{D}_a$  est la matrice d'amortissement angulaire :

$$\mathbf{D}_a = \begin{bmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Les résultats sont calculés pour plusieurs valeurs d'amortissement, autant pour  $c_1$  et  $c_2$ , ainsi que pour plusieurs points dans le plan. Les valeurs d'amortissement utilisées sont 0.2, 0.4 et 0.8 Nm pour chaque amortisseur, créant ainsi 9 combinaisons d'amortissement possibles. La Figure 3.11 montre les points utilisés pour le calcul de l'amortissement linéaire résultant. Les points utilisés représentent le croisement des droites verticales et horizontales à 0.1, 0.4, 0.6 et 0.9 fois la longueur totale du mécanisme dans le premier quadrant comme le montre le carré noir pointillé. Ces points de croisement sont considérés seulement pour l'espace admissible du robot tel que présenté par la ligne noire continue. Il y a donc trois points que l'effecteur ne peut pas atteindre; ceux-ci sont représentés en rouge sur le graphique. Les points dans l'espace atteignable sont en bleu. Les figures sont présentées dans l'annexe A, mais la Figure 3.12 montre les résultats d'une des analyses quand les amortisseurs ont les deux une valeur d'amortissement de 0.4 Nm. Dans les différentes figures, les vecteurs propres sont représentés en noir. Ceux-ci sont perpendiculaires entre eux. Ils représentent les axes principaux des forces des amortisseurs en ce point. En bleu est représentée l'ellipse des valeurs propres. Plus l'ellipse est allongée, plus l'amortissement est élevé dans un axe par rapport à l'autre. À l'inverse, si l'ellipse est ronde ou presque, l'amortissement est égal dans les deux directions.

Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre le comportement d'amortissement du système. Plus le robot se trouve au centre de sa plage d'utilisation, c'est-à-dire environ à  $0.707x$  où  $x$  est la longueur totale du mécanisme, plus l'amortissement est égal dans les deux directions. L'ellipse obtenue tend vers un cercle. À l'inverse, lorsque l'effecteur est dans les limites de l'espace atteignable, l'ellipse s'allonge et un axe devient prédominant par rapport à l'autre. Ce comportement est observable, peu importe les valeurs des amortisseurs choisis.

Pour les situations où les deux amortisseurs dans le système ont la même valeur, les courbes des valeurs propres sont les mêmes à un facteur d'échelle près, celui des grandeurs des amortisseurs. Dans les cas où une combinaison d'amortisseurs de grandeur différente est utilisée, les résultats obtenus diffèrent légèrement de ceux avec des amortisseurs égaux. Les vecteurs propres se retrouvent à effectuer une légère rotation. En général, les comportements observés sont similaires avec des amortisseurs de même grandeur ou de grandeur différente. Afin de mieux contrôler les amortisseurs, des grandeurs similaires pour les taux d'amortissement sont souhaitées. Pour les situations où les amortisseurs sont de grandeur égale, les vecteurs propres ont une configuration particulière. Il y a toujours un vecteur qui pointe vers l'origine

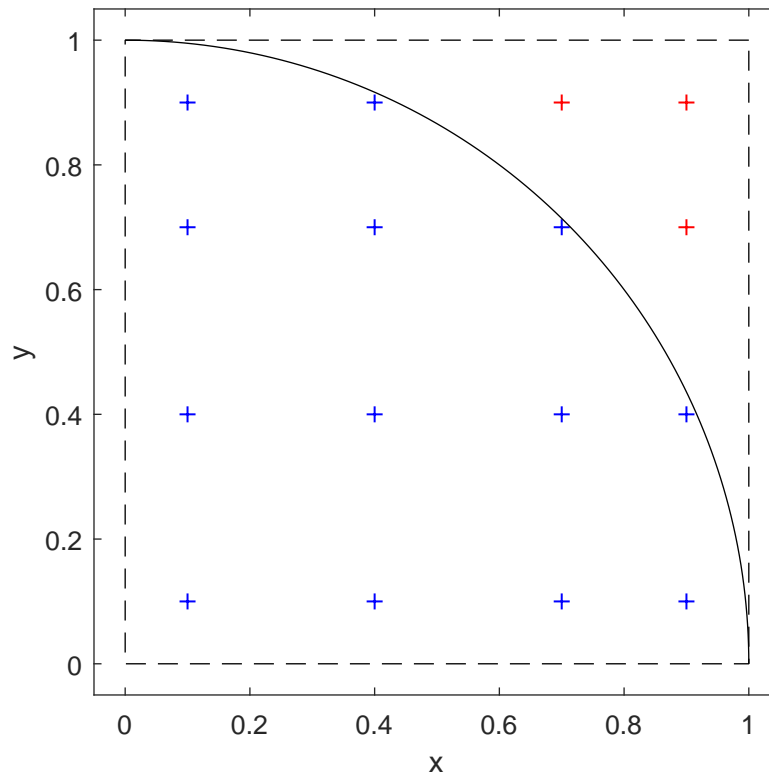


FIGURE 3.11 – Points utilisés (en bleu) pour calculer l’amortissement linéaire résultant.

du système. Les axes sont donc respectivement radiaux et tangents.

Les résultats vont dans la même direction que l’inverse du conditionnement de la matrice. Il y a une plage de travail où le comportement du mécanisme est optimal et du même coup les amortisseurs travaillent de manière similaire. Des analyses sont aussi faites pour déterminer la bonne longueur des barres en fonction de tous ces éléments. Le but est d’avoir un mécanisme le plus compact possible tout en ayant de bons résultats du mécanisme dans la plage de travail souhaitée. En décalant la feuille par rapport à la base du mécanisme, il est possible de centrer celle-ci avec les résultats les plus élevés de l’inverse du conditionnement. Pour garder des valeurs de cet inverse supérieures à 0.5 pour toute la surface d’une feuille format standard en position portrait ou paysage, il faudrait des barres de 500 mm de long. Ceci crée un mécanisme encombrant et ce n’est pas souhaitable. Un compromis a été fait pour sélectionner des barres de 250 mm. Celles-ci permettent un comportement acceptable et les dimensions totales du mécanisme restent satisfaisantes. En choisissant des barres de cette longueur, il est aussi possible de travailler dans la plage des amortisseurs où leur comportement est quasi linéaire.

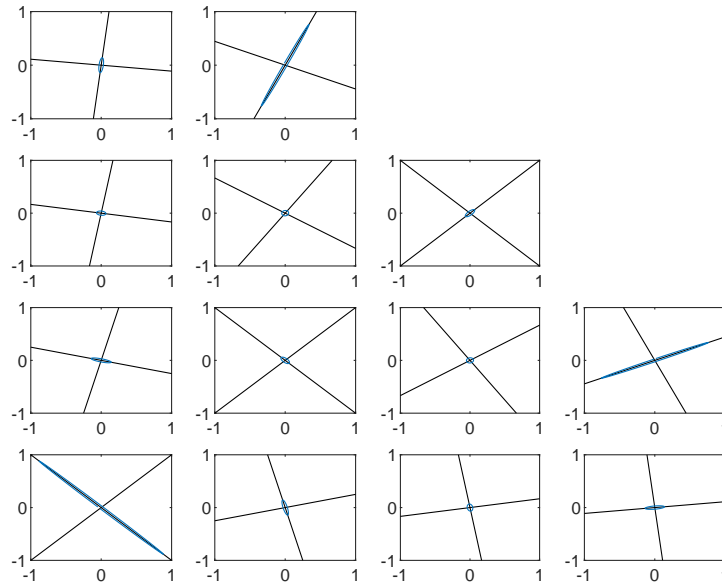


FIGURE 3.12 – Vecteurs propres (en noir) et ellipse des valeurs propres (en bleu) lorsque l’amortissement est :  $c_1 = 0.4Nm$  et  $c_2 = 0.4Nm$ .

### 3.5 Mécanisme d’amortissement variable

Bien que le comportement des amortisseurs angulaires a été analysé en détail, les premiers essais avec le mécanisme ont démontré qu’il serait très intéressant d’avoir le choix de la force créée par les amortisseurs. En effet, deux utilisateurs pourraient avoir des besoins différents : un pourrait nécessiter un amortissement important tandis que l’autre pourrait avoir besoin d’un faible amortissement. Le choix d’amortisseurs angulaires avec des grandeurs d’amortissement dans la plage de 0.2 à 0.8 Nm n’est pas impressionnant. Ceux utilisés sur la première version du mécanisme ont une valeur relativement élevée (0.4 Nm) et pourraient créer un amortissement trop important pour de futurs utilisateurs. Un mécanisme d’amortissement variable est alors développé. En utilisant un mécanisme à quatre barres, il est possible de transférer les couples créés par l’amortisseur au mécanisme sans modifier de façon significative le design actuel. Les quatre barres sont liées entre elles par des liaisons rotoïdes. De plus, en faisant simplement varier la longueur d’une des barres, le ratio de transmission du couple peut être modifié. La Figure 3.13 montre un mécanisme à quatre barres général. La barre  $l_1$  est fixe ; c’est la base du mécanisme. La barre  $l_2$  est liée à l’amortisseur par son pivot avec  $l_1$ . La barre  $l_4$  est liée au mécanisme par son pivot avec  $l_1$  et c’est celle-ci qui changera de dimension. La quatrième barre,  $l_3$ , permet de transférer le mouvement entre l’amortisseur et le mécanisme.

Le but souhaité par ce nouveau mécanisme est de réduire le couple appliqué sur le méca-

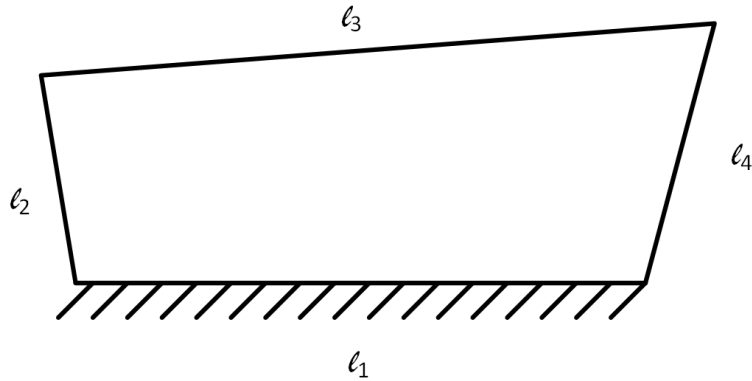


FIGURE 3.13 – Mécanisme de base à 4 barres RRRR avec la barre  $l_1$  comme base.

nisme d'écriture tout en s'assurant qu'il est constant pour chaque longueur possible de la barre  $l_4$ . En gardant les barres  $l_2$  et  $l_4$  parallèles ou presque sur une partie de la plage de mouvement admissible, il est possible de transférer un couple constant entre l'amortisseur et le mécanisme. Pour ce faire, les angles d'attache du mécanisme avec le boîtier  $l_1$  (donc les angles entre  $l_1$  et  $l_2$  ainsi qu'entre  $l_1$  et  $l_4$ ) doivent être ajustés à chaque fois que la longueur de la barre  $l_4$  est modifiée. Avec une telle configuration, les couples transmis sont presque parfaitement constants, et ce, pour n'importe quel point dans l'espace de travail du mécanisme. Les ratios d'amortissement choisis permettent de faire varier le couple appliqué sur le mécanisme d'écriture sur le couple de l'amortisseur à un ratio allant de 0.1 à 1. Les modifications se font en déplaçant le point d'attache entre les barres  $l_3$  et  $l_4$  dans les différents trous filetés de la barre  $l_4$ . La Figure 3.14 montre le mécanisme d'amortissement représenté sur le dessin. La plaque qui soutient le mécanisme a été mise translucide afin que les amortisseurs qui sont sous cette plaque soient visibles.

À la suite de nouveaux essais avec l'aide technique et le mécanisme d'amortissement variable, il a été possible de constater que les amortisseurs angulaires produisent une friction sèche importante. En théorie, les amortisseurs devraient produire un couple proportionnel à la vitesse des articulations. La friction sèche peut être comparée avec une ordonnée à l'origine; c'est une friction que l'utilisateur ressent, peu importe la vitesse du mécanisme. Pour un amortisseur idéal, cette friction devrait être nulle. Dans le cas actuel, les amortisseurs ont une friction sèche importante qui fait en sorte qu'on ressent un amortissement constant, peu importe la vitesse des mouvements. Si un mouvement est lent ou s'il est rapide, comme pour un spasme, l'amortissement induit sera sensiblement le même. Pour remédier à la problématique, le mécanisme à quatre barres est modifié. Les barres  $l_2$  et  $l_3$  sont remplacés par un vérin hydraulique. Le mécanisme passe donc d'une configuration RRRR à RPRR. Il y a encore un pivot entre le mécanisme et le vérin, mais le pivot entre les barres  $l_2$  et  $l_3$  est remplacé par une liaison prismatique. Il est toujours possible d'ajuster la grandeur de l'amortissement en

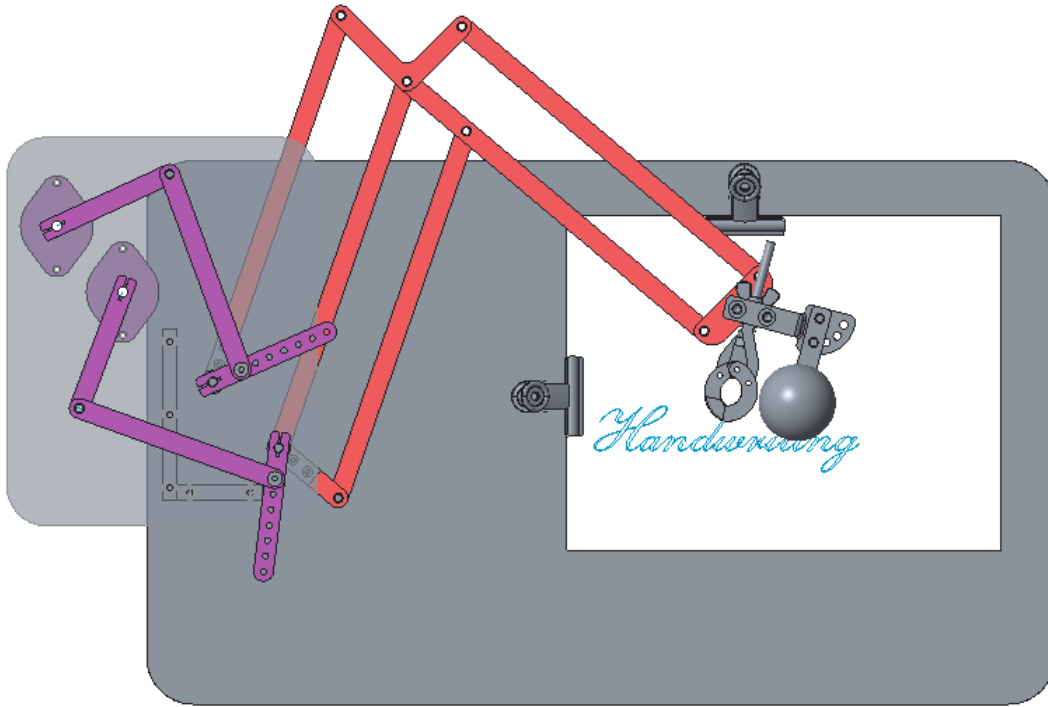


FIGURE 3.14 – Aide à l’écriture avec mécanisme d’amortissement variable à quatre barres en mauve.

changeant le point d’attache sur la barre  $l_4$ . La Figure 3.15 montre cette nouvelle configuration du mécanisme. Le comportement de ces vérins suit une courbe beaucoup plus similaire au comportement souhaité des amortisseurs. La friction sèche est diminuée de manière significative et l’utilisateur ne ressent plus son effet en utilisant le mécanisme.



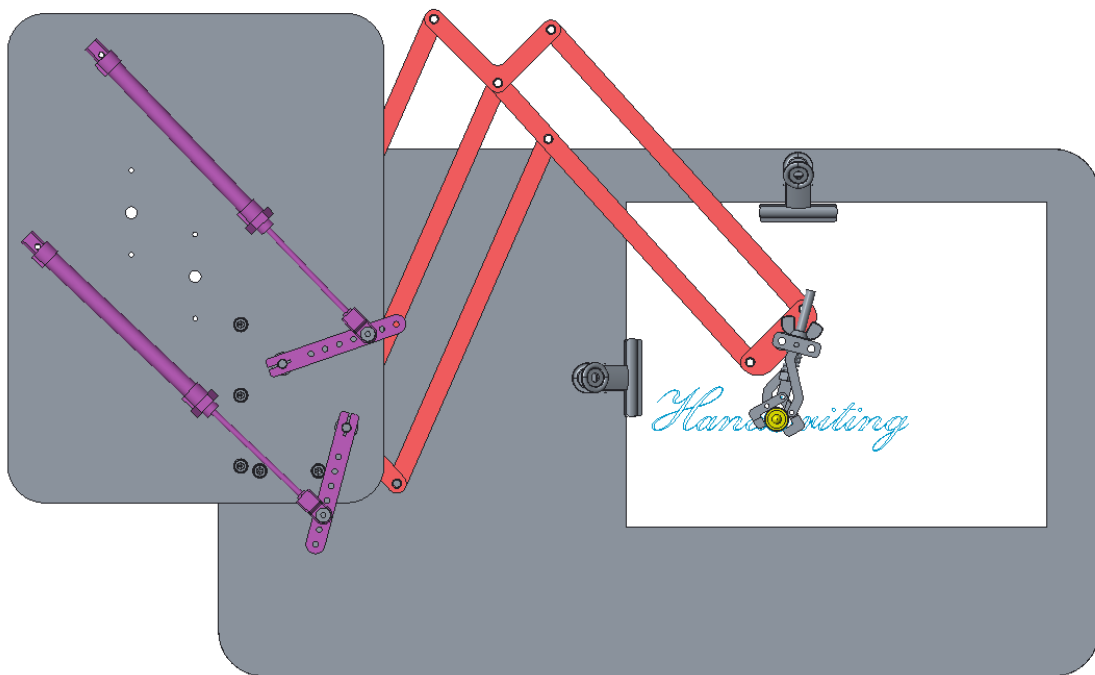


FIGURE 3.15 – Aide à l'écriture avec mécanisme d'amortissement variable avec un vérin linéaire en mauve.

## Chapitre 4

# Mechanical design of a new device to assist handwriting in people with movement disorders

### 4.1 Résumé

Les personnes vivant avec des difficultés de mouvements ne sont pas capables d'écrire à la main entre autres en raison de spasticité, de commande motrice non-sélective, de faiblesse musculaire ou de tremblements. Cet article présente le développement d'une aide technique à l'écriture qui vise à stabiliser les mouvements de l'utilisateur. La situation actuelle est présentée et le design de l'aide technique à l'écriture est expliqué. Une évaluation préliminaire est faite sur six utilisateurs potentiels. Les résultats de l'évaluation préliminaire démontrent que l'aide technique aide les utilisateurs potentiels à écrire. Les analyses qualitatives résultantes montrent que les formes sont mieux définies et que le temps d'exécution est significativement réduit. L'aide technique à l'écriture aide les personnes vivant avec des limitations aux membres supérieurs à écrire à la main. Le mécanisme tient le crayon droit tandis que les mouvements involontaires sont amortis. Il a fallu 4.8 fois moins de temps aux utilisateurs potentiels pour reproduire des formes choisies avec l'aide technique au lieu d'utiliser seulement un crayon.

### 4.2 Abstract

**Introduction.** People living with motion disorders are unable to write on their own due to several causes including but not limited to spasticity, unselective motor control, muscle weakness and tremors. **Methods.** This paper presents the development of a handwriting assistive device that aims to stabilize the motion of the user. The current situation is presented and the design of the handwriting assistive device is explained. A preliminary evaluation is

made on six potential users. **Results.** The results of the preliminary evaluation show that the device helps people to write. The resulting qualitative analysis shows that the forms were better defined and the execution time was significantly reduced. **Conclusion.** The handwriting assistive device helps people living with motion disorders to handwrite. It holds the pen straight while damping user's voluntary and involuntary movements.

### 4.3 Introduction

For children living with motion disorders, handwriting can be difficult, or even impossible. To help these children learn to write, occupational therapists suggest typing on a computer. There is an important difference in the learning process between typing on a computer and writing by hand. Indeed, using on a keyboard and handwriting develop different parts of the brain [1]. Moreover, traditional handwriting has many advantages on the development of children. It helps memorization [2], letter recognition [3] and spelling [4]. Note taking is more efficient when it is handwritten instead of being typed because it helps memorizing what was written [5]. Math problems can be solved more easily when the approach is written down [6]. Children have more ease to learn letters when they write them down instead of simply seeing them [7]. Coordination difficulties can have serious consequences on the academic, social and emotional development of children [8].

In the literature, some designs were proposed to help people living with motion disorders write. An assistive drawing device was developed to help children with cerebral palsy draw, but the device had a small range of motion and was developed for specific users with cerebral palsy [9]. Some bigger pencil grips and ergonomic pens may help children that are not capable to handle small diameter pens. For people with Parkinson's disease, anti-tremor gloves may help with tremor. Haptic device [10] and the Clinical Kinematic Assessment Tool [11] can help children learn the movement for writing words and sentences. All the assistive technologies (AT) help children communicate and socialize [12], but none of them help with spasms. While a variety of solutions have been proposed, the literature also points to a number of factors that limit user adoption of AT devices in general, including high cost, difficulty of operating devices, deceiving performance, and insufficient adaptation to the users' needs [13; 14]. From informal discussions with occupational therapists in our rehabilitation setting (Quebec, Canada), it was revealed that many people living with movement disorders could not write by themselves (or with difficulty), and that no existing AT was able to fully meet their needs and help them in that task.

In that context, the overall goal of this research is to develop and evaluate a handwriting assistive device (HAD) to help children living with movement disorders handwrite and draw. To restrict the scope of the project, we first aimed to address two types of motor disorders: a) contractures due to spasticity or joint deformities (which prevent the user from holding the

pencil correctly), and b) abrupt movements (*e.g.*, spasms, ataxia, dystonia). The specific objectives were threefold: 1) to establish the current situation related to handwriting amongst the target population, 2) to design an HAD prototype that would stabilize the user's motion and enable handwriting, and 3) to perform a preliminary evaluation of the HAD prototype to assess its performance and to guide the development of future iterations.

## **4.4 Objective 1 - Current situation and needs assessment: methods and results**

### **4.4.1 Methods**

A review of the state of art and currently commercially available HADs was first performed. A round table of six occupational therapists (from CIUSSS de la Capitale-Nationale) and two engineers from the research team was then held to discuss the current situation of children related to handwriting. Occupational therapists were included provided they had two years or more of clinical experience (the participants experience varied between 2 and 35 years). The objective of that round table was to focus on the main features needed for the HAD. This study was approved by the Research Ethics Board at the CIUSSS de la Capitale-Nationale and informed consent was obtained from each participant. A questionnaire was answered by occupational therapists to see how current HADs met the user's needs and how a new device could help the user's development and self-esteem. Then, the technology review (images, videos, demonstrations of available systems) was presented to the group for discussion in order to examine the perceived advantages and drawbacks of each solution, based on the users' experience with such devices and the users' insights based on practice. This has allowed to better understand the important features and the constraints. Finally, a semi-structured group interview was made to collect any remaining pertinent information. Written notes were taken by the research team during this interview.

### **4.4.2 Results**

The questionnaire's results are shown in Figure 4.1 and present the mean and the variance for each question. Results from this questionnaire showed that, in the opinion of the participants, the current HADs did not really meet the user's needs and could not be used in practice. The figure also shows that, according to them, a new HAD could be beneficial for potential users in many facets of their lives. The occupational therapists also thought that the proposed device would be easily accepted by the parents of potential users as it would help with the handwriting of their children.

A clearer understanding of the advantages and drawbacks of different existing systems emerged from the focus group discussion. When asked about current available HADs, occupational therapists said that they had seen and worked with some such as heavy pen,

anti-tremor gloves, large pencil grips and the Blackburn orthosis. It was revealed that the actual ATs do not help children living with contractures due to spasticity or joint deformities and spasms. The final HAD should be compact and should cover an entire letter format sheet, either in portrait or landscape orientation.

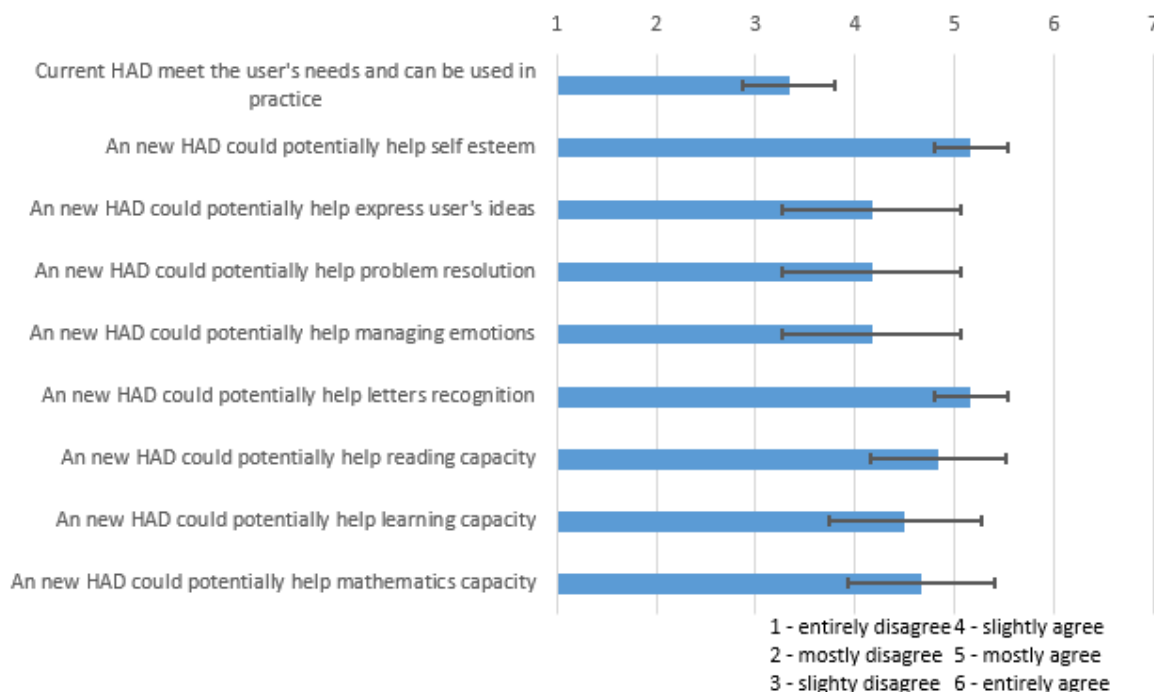


FIGURE 4.1 – Results of a roundtable with occupational therapists on the possible efficiency of an HAD.

## 4.5 Objective 2: Development of the HAD

### 4.5.1 General overview

During discussions at the roundtable, different solutions were explored and an HAD prototype was developed via an iterative process in collaboration with occupational therapists and researchers in engineering and rehabilitation, through a user-centred approach based on Design Thinking (a process that places the individual and his/her needs to the centre of the reflection and allows him/her to participate actively in the innovation) [15]. The main characteristics that were aimed at in the design were to automatically maintain the pen in a constant orientation, and to reduce the impact of uncoordinated movements. The final proposed system is shown in Figure 4.2.

### 4.5.2 Mechanism

This section presents the mechanical design of the HAD. The design is made of a 5-bar mechanism and has two degrees of freedom (DOF). The mechanism has two angular DOFs but the end-effector moves on a Cartesian plane. To do so, two parallelograms were added; one for each bar. This allowed to constrain the rotation of the end effector. Another parallelogram was added to transfer control of the second rotation to the base. This created a HAD where the pen is always in the same orientation with respect to the user, and the control of the two DOFs is at the base of the mechanism. More details on the mechanism development are provided in the article by Lemire [16]. As mentioned, the HAD should be compact and should cover an entire letter format sheet, either in portrait or landscape orientation.

### 4.5.3 Pen holder and handles

The pen is held in place with a pen holder mechanism. It is designed so that it can be used with pens of many sizes, with diameters of 8 mm to 20 mm. A spring allows the pen holder to automatically open when the pressure is released from the tightening screw, as seen behind the pencil on Figure 4.2. The pen holder design is relatively small so it is possible for users to hold the pen directly if they display the motor skills required to hold a pen.

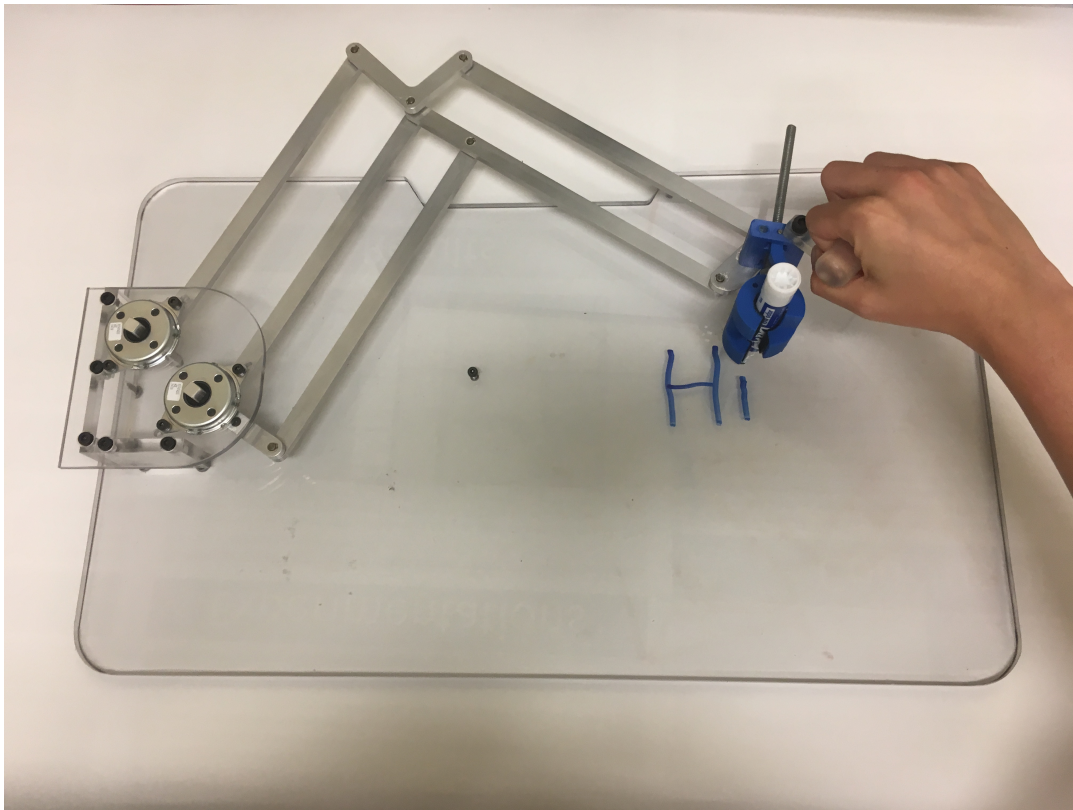


FIGURE 4.2 – HAD prototype.

Since the users' capacities are very limited, it is important for the HAD to be adaptable. To this end, handles of different shapes, orientation and size can be added on the side of the pen holder. Four handles were designed. The available shapes are a rod, a sphere, a "L" and a "T" as seen in Figure 4.3. They are available in small and large sizes. It is also possible to easily design new ones for more customizability. Depending on the user's preferences, the handle can be fixed in a certain orientation from the base or it can rotate around its axis. All the adjustments on the pen holder mechanism and the handle can be performed in a quick and easy manner so that many users can use the same device.

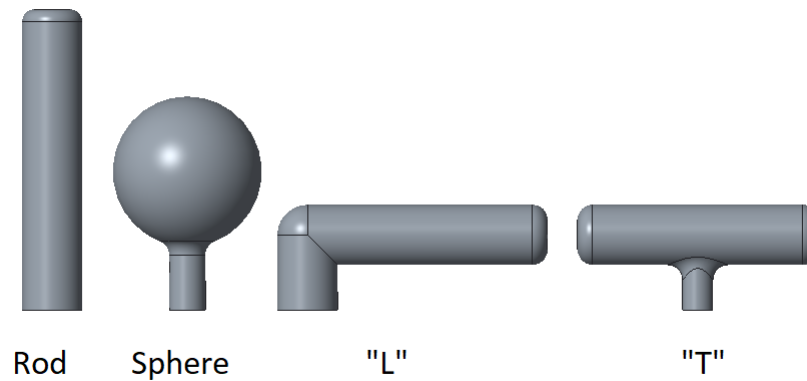


FIGURE 4.3 – The four available handles to control the HAD.

#### 4.5.4 Stabilizing the movements

Since target users might make uncoordinated movements, an important part of the design objective was to assist the movements in order to limit the effects of such movements. To this end, rotary dampers were added to the HAD joints. As a result, the dampers damp the rotary motions of the mechanism's bar. As these dampers are linked directly to the bars that control the two DOFs, they move proportionally to each DOF. For a given Cartesian displacement of the end effector, the resulting motion at the joints will vary depending on the end effector position. The dampers will thus produce different Cartesian damping values for different positions of the end effector in the workspace. This might create an unintuitive feeling for the user at the end effector since 1) for a given position of the end effector, the Cartesian damping could be different depending on the movement direction (*e.g.*, strong damping ratio in a given Cartesian direction (*e.g.*, forward-backward) with a low damping ratio in another direction (*e.g.*, left-right), 2) for a given movement direction, the intensity of the damping could be different for various end effector positions). An optimization was thus performed in order to obtain a Cartesian damping as uniform as possible on the mechanism's workspace. To this end, it was first required to characterize the effect of the damping transformation from the angular movement to the Cartesian linear movement. This has al-

lowed to determine the required mechanism dimensions (*e.g.*, bar length) and characterize where the damping is mostly uniform in both directions.

### Matrix conditioning

The HAD was first characterized using the Jacobian matrix. The Jacobian matrix of the HAD reflects the relation between the Cartesian velocity of the end effector and the angular velocity of each joint. This matrix is thus useful to characterize the kinematics of the HAD and is represented in equation 4.1.

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} -l_1 \sin(\theta_1) & -l_2 \sin(\theta_2) \\ l_1 \cos(\theta_1) & l_2 \cos(\theta_2) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

With the inverse of the conditioning of the Jacobian (ICJ), it is possible to characterize the maximal relative error between angular and Cartesian displacements of the HAD in its working space since it gives indications of the dexterity of the HAD in general. Equation 4.2 presented the conditioning of the Jacobian while equation 4.3 presented the ICJ. The results of the ICJ are between 0 and 1. The closer to 1, the more uniformly the HAD reacts (damping in a given Cartesian direction is similar to the damping in another direction). It can be shown that for given link lengths, the ICJ depends on the distance between the base and the end effector's position. It can also be shown that for given link lengths, the absolute values of the link lengths do not influence the conditioning, but that the relative ratio ( $l_2/l_1$ ) does. Figure 4.4 shows the results for the HAD with different possible normalized lengths of bars. The y-axis represents the ICJ. The x-axis represents the distance  $r$  from the base using normalized link lengths ( $l_1 + l_2 = r$ ) for a position of  $r = 0$  (HAD at the base) to  $r = 1$  (HAD fully extended). Figure 4.4 also shows different curves with different link length ratios ( $l_2/l_1$ ). The HAD inverse of the dexterity is null at these two positions ( $r = 0$  and  $r = 1$ ) for all link length ratios since these positions are singularities. The point at the highest inverse of the maximal relative error is at a distance of approximately  $\sqrt{2}/2 * (l_1 + l_2)$  for all link length ratios. Ideally, the HAD should lead to curves with values closer to 1 and high values throughout the workspace. The best curve is the one with equal link length ( $r_2/r_1 = 1$ ). As the ratio between the two link lengths gets further from 1, the inverse of the maximal relative error decreases. For instance, this means that for a ratio of 0.5, for a given position of the end-effector, the Cartesian damping in a given direction is far from equal than in another direction. An equal link length was thus chosen for the prototype.

$$\kappa(\mathbf{J}) = \|\mathbf{J}^{-1}\| \|\mathbf{J}\| \quad (4.2)$$

$$ICJ = \frac{1}{\kappa(\mathbf{J})} = \frac{1}{\|\mathbf{J}^{-1}\| \|\mathbf{J}\|} \quad (4.3)$$



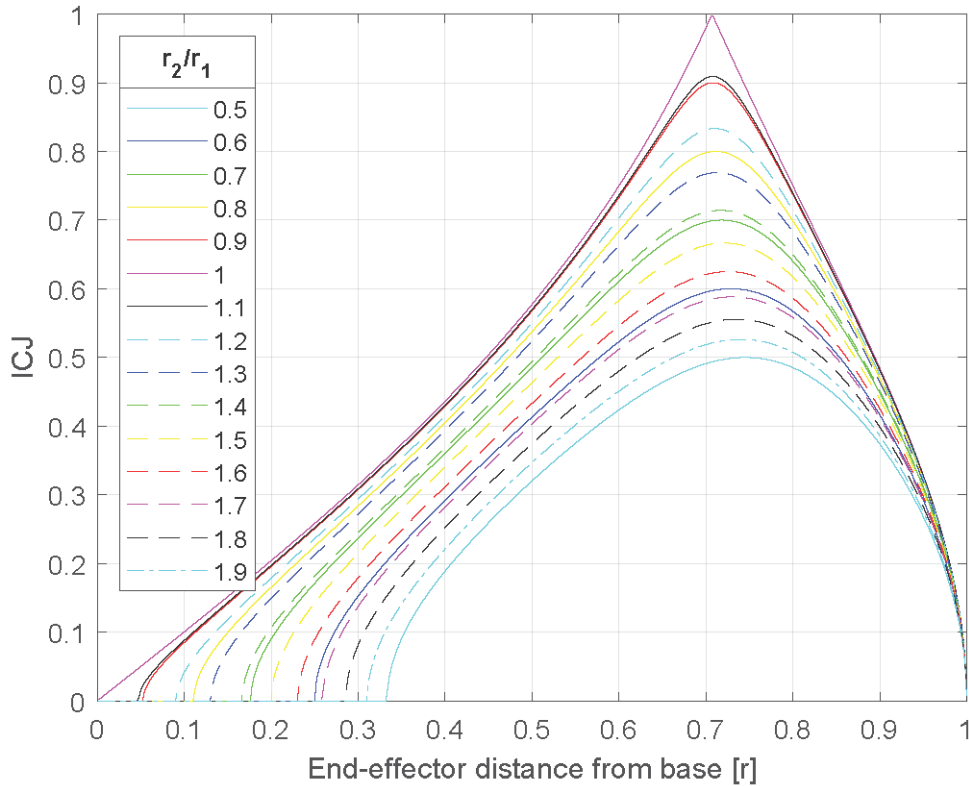


FIGURE 4.4 – ICJ depending on the length ratio of the two bars.

### Effect of torque at each joint

While Figure 4.4 shows the ICJ for different positions of the end effector, it does not provide tangible information about the resulting uniformity of the Cartesian damping, which would prove important in choosing the HAD's workspace. To this end, simulated torque values ranging from -1 to 1 Nm acting on both joints ( $J_1, J_2$ ) have been applied and thanks to the Jacobian matrix, the Cartesian force values at the end effector were found. Figure 4.5 shows the results of the computation added on Figure 4 curve with equal length ( $r_2/r_1 = 1$ ) to represent how the Cartesian force values (in the horizontal and vertical axes) differ. The forces are equal when the ICJ is equal to 1, and tend to differ as the ICJ gets smaller. For instance, at  $r = 0.5$ , the vertical Cartesian force is 0.058 N and the horizontal force is 0.01 N, while at  $r = 0.707$ , both the vertical and horizontal forces are 0.0071 N. For a point even farther from  $r = 0.707$ , such as  $r = 0.1$ , the vertical force is 0.005 N and the horizontal force is 0.05 N.

### Effects of angular damping on linear movements

After performing the analysis of the ICJ and the force values at the end effector depending on the torque values at the two DOFs, it would be interesting to find the reflecting Cartesian

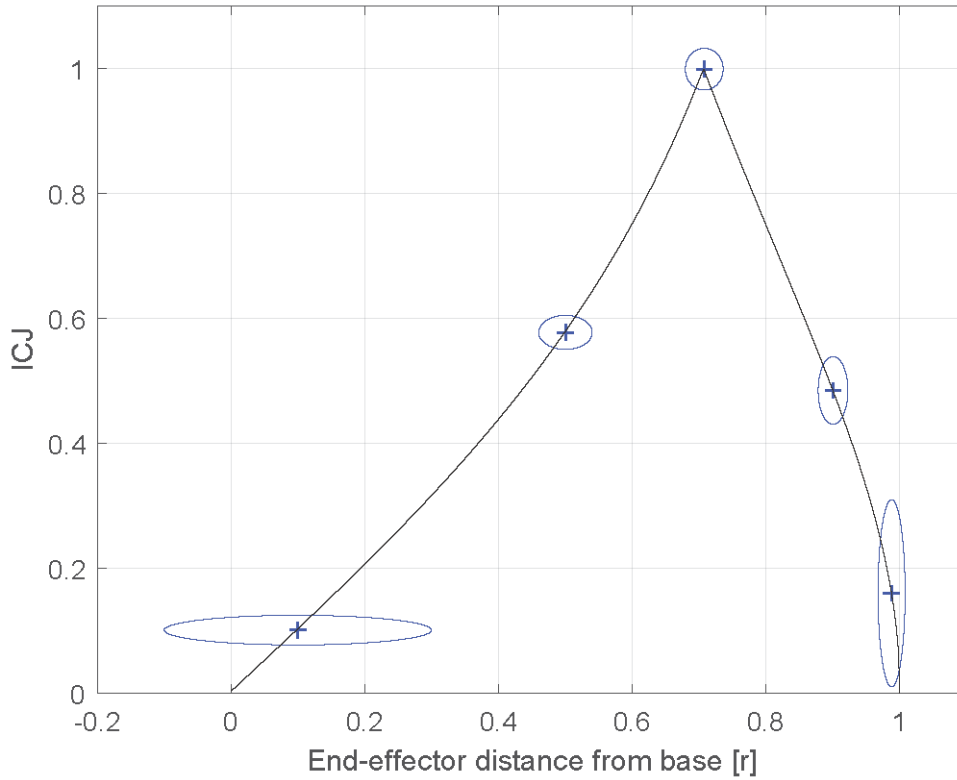


FIGURE 4.5 – ICJ with the results of the forces at the end-effector with specified torques at the base.

damping in the working plane. As demonstrated in the previous subsection, the force values detected in the two Cartesian directions at the end effector are not equal if the ICJ differs from 1. The Cartesian damping felt by the user is characterized by the linear damping matrix which is obtained with the Jacobian and angular damping matrices as shown in equation 4.4.

$$\mathbf{D}_l = \mathbf{J}^{-1} \mathbf{D}_a \mathbf{J}^{-1} \quad (4.4)$$

The results of the reflecting linear damping highlight important information, namely that there are two Eigen vectors representing the main axes of the damping and that these axes are orthogonal with each other as shown in black in Figure 4.6. The two parts of the figure represent different points in the workspace. The left one is from a point at (200, 346) and the right one from a point at (250,250), which represent the best position of the HAD. For equal values of damping coefficients, one Eigen vector passes through the origin of the working space, and the other one is perpendicular to that vector.

Another important information is the Eigen values which indicate the ratio between the

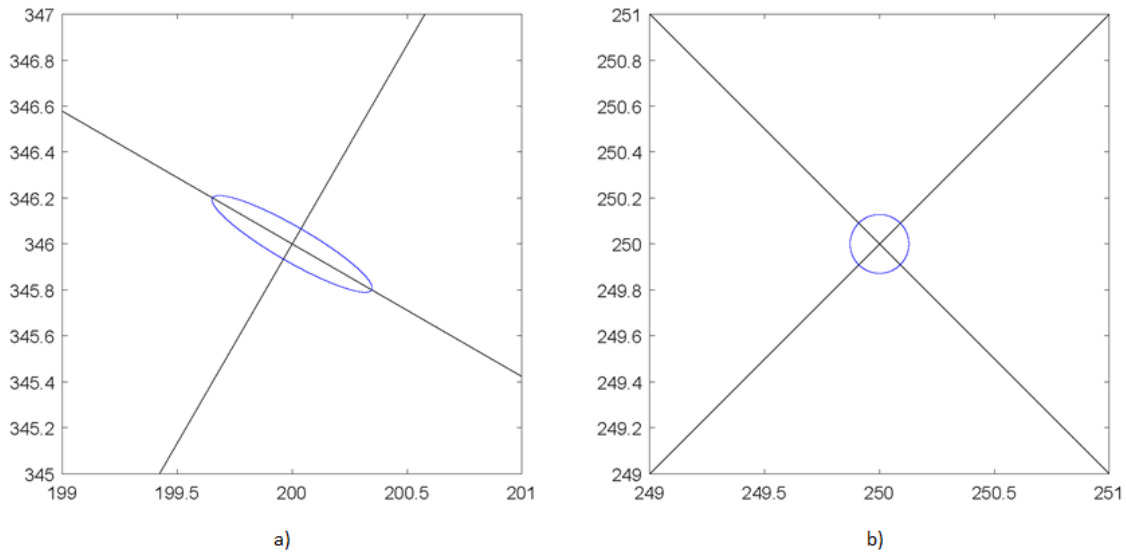


FIGURE 4.6 – Ellipses of the Eigen values and lines of the Eigen vectors a) at point (200; 346) and b) at point (250; 250).

minimal and maximal Cartesian damping for a given position of the end effector. They are shown in blue in Figure 4.6. This information is similar to the one in the preceding section, but with another metric (the damping instead of the force) which presents a complementary information to take into account in the design.

The design of the mechanism is then faced with a compromise. It is first desired to obtain a mechanism where the damping feels as uniform as possible over the workspace of an 8.5x11" sheet of paper. However, it is also desired to limit the overall dimension of the mechanism so the HAD is efficient but not too cumbersome. Based on the experiments and on the theoretical work that was presented, it was determined that the best compromise was to set the bar length as to have a minimum ICJ of 0.16 all along the workspace, which would lead to two bars of 250 mm each. Having a higher value of minimum ICJ creates a much larger HAD.

## 4.6 Objective 3: Evaluations

### 4.6.1 Methods

#### Participants and recruitment

Six participants completed the evaluation. Participants were included if they had motor difficulties and had trouble handwriting on their own. The first five participants were children (age 7 to 12) from a school in Quebec City living with language impairments and light motor

difficulties. The sixth participant was an adult (45 years old) living with cerebral palsy and was not able to write on his own due to spasticity and uncoordinated movements.

This study was approved by the Research Ethics Board at the CIUSSS de la Capitale-Nationale (project 2017-579) and informed consent was obtained from each participant.

### **Experimental procedure**

Each person participated in an individual videotaped testing session, which lasted approximately 30 minutes. Participants first had time to familiarize themselves with the HAD until they felt ready and confident (approximately 2 to 3 minutes), and then the experiment with the HAD started. Users were asked to draw simple forms with their dominant hand with either their usual pen (without the HAD), and then with the HAD. The shapes were, in order of increased difficulty for handwriting:

1. Vertical line
2. Horizontal line
3. Circle
4. Vertical cross
5. Oblique
6. Cross
7. Triangle
8. Name or nickname of the participant.

The forms were executed until the participant reached his/her limit.

### **Performance of variables**

At the beginning of each session, sociodemographic and clinical data were collected using a homemade questionnaire on age, gender and diagnosis. Then, during the evaluation without and with the HAD prototype, the task completion time was measured (for each shape independently) along with a measure of the general writing quality.

### **Data analysis**

Descriptive statistics were used to characterize the sample and the performance variables (means / standard deviation).

#### **4.6.2 Results**

Results from the testing sessions with six participants living with upper arm disabilities showed that the use of the prototype generally helps them write.

The first five participants (children) were all able to hold a pen but had difficulty to write words or draw different forms on their own. They were all able to use the HAD and it helped them to draw the required forms. The lines were better defined and some children were even able to trace the first letter of their name. The children had relatively fair gross motor control but they had difficulty to hold the pen straight. The damping was thus not necessary, but the HAD helped them to hold the pen straight up. They generally used the sphere handle.

The last participant (adult with cerebral palsy) had difficulty to draw or write on his own without the HAD. He used the HAD with the angular dampers and a T-shaped handle. The damping helped to stabilize his movements. He was able to draw all the required forms. He was also capable of writing down his name (“Seb”) even though he had never learned to actually write. The results show that all the drawings and writing were done faster and with more fluidity using the HAD. The execution times are presented in Figure 4.7. He mentioned he would have liked to use such an HAD when he was young, so he could have learned how to write on his own. Figure 4.8 shows the difference in the writing of the user with and without the HAD. A qualitative analysis shows that the writing is more legible when the HAD is used.

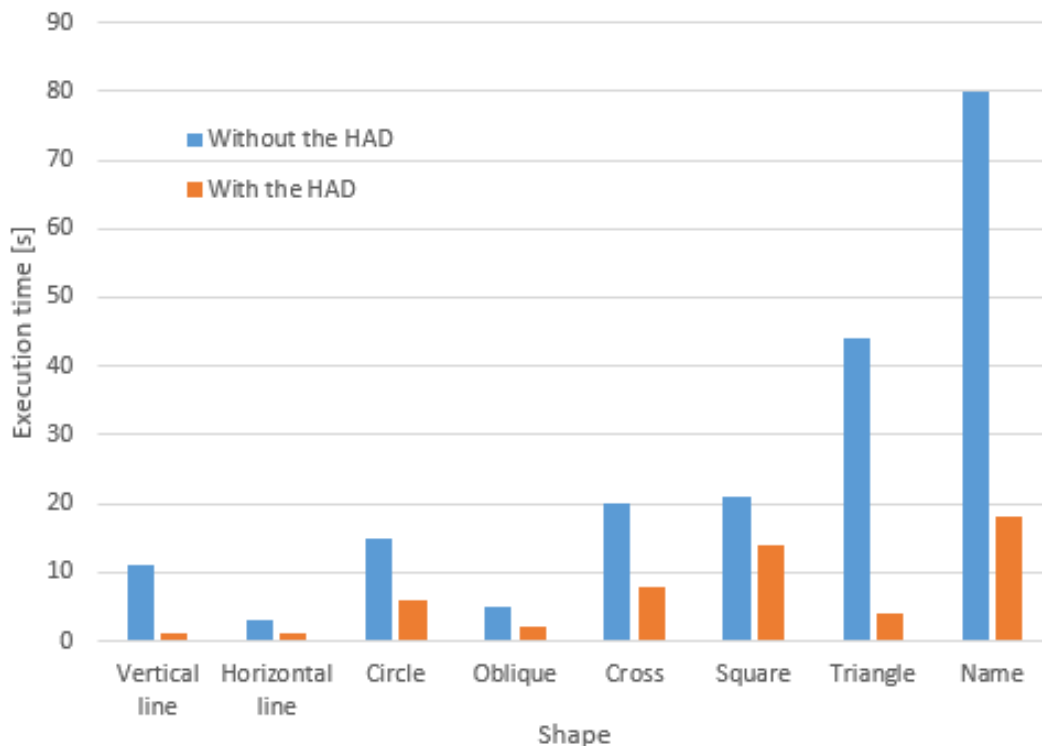


FIGURE 4.7 – Execution time for different shapes with and without the HAD.

Figure 4.7 shows that all the shapes were executed faster with the HAD. In general, the

execution with the HAD was 4.8 times faster than without the HAD.

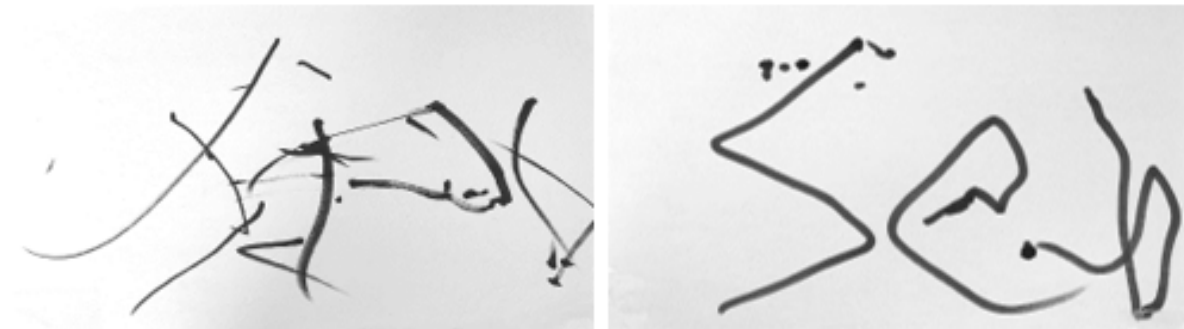


FIGURE 4.8 – Handwriting of the word "Seb" without the HAD (left) and with the HAD (right).

## 4.7 Discussion

The objective of this paper was to present the development of an HAD to help children living with movement disorders write and draw. This was done in three parts: 1) establish the current situation amongst the target population, 2) iteratively design a prototype and 3) perform a preliminary evaluation of the prototype to assess its performance and to guide the development of future iterations.

After some research on commercially available devices and the state of art in the literature, a roundtable with occupational therapists was held to better understand the current situation. It was found that none of the currently available HAD had been adapted for the target population. Occupational therapists mentioned that a new HAD could help children with their development and self esteem, mainly for letter recognition and reading capacities. As none of the products helped with fine motor skills and uncoordinated movements, the new HAD focussed on these characteristics.

The prototype of the HAD was developed following the Design Thinking method so the user and its needs are at the centre of the reflection. The dimensions of the HAD were optimized so the movements of the effector are uniform in all directions and the final HAD is as compact as possible. The possibility to grab directly the pen or to use a customizable handle is useful for progression in the development of the user, and allows an adaptation for a larger range of movement disorders.

The preliminary evaluation with potential users shows that the HAD can help persons with physical limitations to write and draw. One adult with cerebral palsy aged 45 and five children (age 7 to 12, with language impairments and motor difficulties) have tried the HAD with the protocol. Even though the first five participants did not have important motor difficulties, the experiment showed that the HAD was useful to them (mainly to support the

pen vertically). The results with the adult living with cerebral palsy demonstrated that the HAD was helpful and easy to use. In only a few minutes, the user was able to control the HAD and to complete the sequence of shapes faster than with a regular pen. A qualitative analysis has shown that the forms were better defined with the help of the device.

## **4.8 Conclusion**

This paper has presented an HAD for people living with movement disorders. The HAD is completely mechanical, and helps to hold the pen while damping the user's voluntary and involuntary movements. In the short term, future work consists in transferring the HAD to an electronic version. Indeed, the current mechanical version damps both voluntary and involuntary movements. With an electronic version, the damping could be varied in real time to let users perform voluntary movements freely while damping involuntary movements more intensely. This could also allow a progression (from high assistance to low assistance) during the child's learning.

## **4.9 Declarations**

### **4.9.1 Acknowledgements**

We would like to thank Philippe Cardou, Marie-Philippe Paquet and Marie-Hélène Demers for their assistance in this research.

### **4.9.2 Conflicting interests**

There is no conflict of interest.

### **4.9.3 Funding**

This work was supported by the Fonds de recherche Québec Nature et Technologies (FRQNT – INTER Strategic Network) under grant 2020-RS4-265381 and funding provided by the Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIS).

### **4.9.4 Guarantor**

ACL

### **4.9.5 Contributorship**

GL and ACL conceived the HAD mechanism. VF was involved in the protocol development. VF and ACL were involved in gaining ethical approval and patient recruitment. GL and TL are responsible of the mechanical design. GL is responsible of the data analysis and wrote the

first draft of the manuscript. All authors reviewed and edited the manuscript and approved the final version.

## 4.10 Bibliographie

- [1] Audrey L H van der Meer and F R Van Der Weel. Only three fingers write, but the whole brain works : a high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning. *Frontiers in psychology*, 8 :706, 2017.
- [2] Timothy J Smoker, Carrie E Murphy, and Alison K Rockwell. Comparing memory for handwriting versus typing. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 53, pages 1744–1747. SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2009.
- [3] Marieke Longcamp, Marie-Thérèse Zerbato-Poudou, and Jean-Luc Velay. The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta psychologica*, 119(1) :67–79, 2005.
- [4] Virginie Pontart, Christel Bidet-Ildei, Eric Lambert, Pauline Morisset, Lisa Flouret, and Denis Alamargot. Influence of handwriting skills during spelling in primary and lower secondary grades. *Frontiers in psychology*, 4 :818, 2013.
- [5] Pam A Mueller and Daniel M Oppenheimer. The pen is mightier than the keyboard : Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological science*, 25(6) :1159–1168, 2014.
- [6] Noraini Idris. Enhancing students' understanding in calculus through writing. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 4(1) :36–55, 2009.
- [7] Karin H James and Thea P Atwood. The role of sensorimotor learning in the perception of letter-like forms : Tracking the causes of neural specialization for letters. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1) :91–110, 2009.
- [8] Cheryl Missiuna, Lisa Rivard, and Nancy Pollock. They're Bright but Can't Write : Developmental Coordination Disorder in School Aged Children. *Teaching Exceptional Children Plus*, 1(1) :n1, 2004.
- [9] Fong-Gong Wu, Eva Chang, Rain Chen, and Chien-Hsu Chen. Assistive drawing device design for cerebral palsy children. *Technology and Disability*, 15(4) :239–246, 2003.
- [10] Nicolo Pedemonte, Thierry Laliberté, and Clément Gosselin. A bidirectional haptic device for the training and assessment of handwriting capabilities. In *World Haptics Conference (WHC), 2013*, pages 599–604. IEEE, 2013.



- [11] Katy A Shire, Liam J B Hill, Winona Snapp-Childs, Geoffrey P Bingham, Georgios K Kountouriotis, Sally Barber, and Mark Mon-Williams. Robot Guided 'Pen Skill' Training in Children with Motor Difficulties. *PloS one*, 11(3) :e0151354, 2016.
- [12] Stacey Henderson, Heather Skelton, and Peter Rosenbaum. Assistive devices for children with functional impairments : impact on child and caregiver function. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(2) :89–98, 2008.
- [13] Statistics Canada. Disability in Canada : initial findings from the Canadian Survey on Disability. Technical report, 2013.
- [14] Stefano Federici, Fabio Meloni, and Simone Borsci. The abandonment of assistive technology in Italy : a survey of National Health Service users. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 52(4) :516–26, aug 2016.
- [15] Tim Brown. Change by design. pages 1–5, 2009.
- [16] Gabrielle Lemire, Thierry Laliberté, Katia Turcot, Véronique Flamand, and Alexandre Campeau-Lecours. Preliminary design of a device to assist handwriting in children with movement disorders. In *Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA)*, aug 2019.

# Conclusion

L'objectif de ce projet de maîtrise était de développer une aide pour les personnes vivant avec des troubles de mouvement aux membres supérieurs (spasmes, ataxie, dystonie). Ces personnes peuvent avoir de la difficulté à écrire à la main et les systèmes actuellement disponibles sur le marché ne permettent pas de répondre aux besoins de la clientèle visée. Pour atteindre cet objectif, un prototype a été développé et amélioré. Au début, il était équipé d'amortisseurs linéaires lui permettant d'amortir les mouvements brusques de l'utilisateur. En raison de l'importante friction sèche générée par les amortisseurs ainsi que l'amortissement résultant trop important pour certains utilisateurs, un mécanisme d'amortissement variable a été développé. La première version utilisait les mêmes amortisseurs angulaires et permettait de diminuer la force produite par les amortisseurs d'un ratio entre 0.1 et 1 par rapport à la valeur initiale. La seconde version utilisait des vérins linéaires afin de créer un amortissement plus proportionnel à la vitesse de l'effecteur et avec une plus petite friction sèche. Les premiers essais avec des utilisateurs potentiels du mécanisme incluant la première version de l'amortissement variable ont permis de réaliser que le mécanisme permet d'améliorer la qualité de l'écriture ainsi que le temps d'exécution requis pour dessiner certaines formes.

Les futurs travaux consistent à développer une version active du mécanisme. L'amortissement fourni serait ainsi produit par des moteurs et pourrait être adapté en fonction des besoins de chaque utilisateur. Il serait intéressant d'avoir un mécanisme actif permettant un contrôle modulé de l'aide fournie. Par exemple, en ordre décroissant d'assistance fournie, le mécanisme pourrait bouger l'effecteur pour l'utilisateur, aider l'utilisateur à reproduire un mouvement précis en imposant des limites d'écart de déplacements et simplement amortir les mouvements brusques involontaires. Les travaux d'ingénierie réalisés s'inscrivent aussi dans un programme de recherche de plus grande envergure visant à développer différents systèmes d'aides techniques. Les connaissances acquises dans ce projet serviront donc à l'élaboration de futurs systèmes et l'amélioration de prototypes actuels tels que l'aide à l'alimentation, un support à bras, une cuillère équilibrée et des exosquelettes.

## Lien avec les travaux du laboratoire

Les travaux présentés dans ce mémoire sont en lien avec différents travaux effectués au cours des dernières années en ingénierie de la réadaptation au Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIIS) et au laboratoire de robotique de l'Université Laval. Afin de mettre les travaux de ce mémoire dans ce contexte et de donner des références au lecteur par rapport à ces travaux afin de continuer ses lectures, voici une courte mise en contexte.

L'objectif des travaux du groupe d'ingénierie de la réadaptation à l'Université Laval est de développer des technologies d'assistances pour les personnes en situation de handicap et pour prévenir les blessures en milieu de travail. Les travaux portent sur le développement de mécanismes d'assistance [1; 2; 3; 4; 5; 6], d'algorithmes intelligents pour robots d'assistance [7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14] d'interfaces de contrôle pour robots d'assistances [15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24], l'évaluation des technologies d'assistance [25; 26; 27; 28], ainsi que le développement de technologies pour le suivi du mouvement et de la fatigue musculaire en milieu réel [29; 30; 31; 32; 33; 34].

## Bibliographie

- [1] Philippe Turgeon, Michaël Dubé, Thierry Laliberté, Philippe S Archambault, Véronique H Flamand, François Routhier, and Alexandre Campeau-Lecours. Mechanical design of a new device to assist eating in people with movement disorders. *Assistive Technology*, pages 1–8, 2020.
- [2] M. Dubé, T. Laliberté, V. Flamand, F. Routhier, and A. Campeau-Lecours. Mechanical design improvement of a passive device to assist eating in people living with movement disorders. 2020.
- [3] Gabrielle Lemire, Thierry Laliberte, Katia Turcot, Veronique Flamand, and Alexandre Campeau-Lecours. Preliminary design of a device to assist handwriting in children with movement disorders. *Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA)*, 2019.
- [4] G. Lemire, T. Laliberté, and A. Campeau-Lecours. Mechanical orthosis mechanism to facilitate the extension of the leg. 2020.
- [5] Philippe Turgeon, Thierry Laliberte, Francois Routhier, and Alexandre Campeau-Lecours. Preliminary design of an active stabilization assistive eating device for people living with movement disorders. In *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2019 International Conference on*. IEEE, 2019.

- [6] Philippe Turgeon, Michael Dube, Thierry Laliberte, Philippe Archambault, Veronique Flamand, Francois Routhier, and Alexandre Campeau-Lecours. Mechanical design of a new assistive eating device for people living with movement disorders. *Assistive Technology Journal*, 2020.
- [7] F. Schweitzer and A. Campeau-Lecours. Intuitive sequence matching algorithm applied to a sip-and-puff control interface for robotic assistive devices. 2020.
- [8] Dinh-Son Vu, Ulysse Côté Allard, Clément Gosselin, François Routhier, Benoit Gosselin, and Alexandre Campeau-Lecours. Intuitive adaptive orientation control of assistive robots for people living with upper limb disabilities. In *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2017 International Conference on*, pages 795–800. IEEE, 2017.
- [9] Alexandre Campeau-Lecours, Ulysse Côté-Allard, Dinh-Son Vu, François Routhier, Benoit Gosselin, and Clément Gosselin. Intuitive adaptive orientation control for enhanced human-robot interaction. *IEEE Transactions on robotics*, 2019.
- [10] Alexandre Campeau-Lecours, Hugo Lamontagne, Simon Latour, Philippe Fauteux, Véronique Maheu, François Boucher, Charles Deguire, and Louis-Joseph Caron L'Ecuyer. Kinova modular robot arms for service robotics applications. *International Journal of Robotics Applications and Technologies (IJRAT)*, 5(2) :49–71, 2017.
- [11] Alexandre Campeau-Lecours, Véronique Maheu, Sébastien Lepage, Hugo Lamontagne, Simon Latour, Laurie Paquet, and Neil Hardie. Jaco assistive robotic device : Empowering people with disabilities through innovative algorithms. *Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA)*, 2016.
- [12] Alexandre Campeau-Lecours and Clément Gosselin. An anticipative kinematic limitation avoidance algorithm for collaborative robots : Two-dimensional case. In *IROS*, pages 4232–4237, 2016.
- [13] Philippe LeBel, Clément Gosselin, and Alexandre Campeau-Lecours. An anticipative kinematic limitation avoidance algorithm for collaborative robots : Three-dimensional case. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2017 IEEE/RSJ International Conference on*, pages 3075–3080. IEEE, 2017.
- [14] Philippe LeBel, Clément Gosselin, and Alexandre Campeau-Lecours. A constraint based kinematic limitation avoidance : The sliding algorithm for six-dimensional collaborative robots. *IEEE Transactions on robotics*, 2019.
- [15] Samuel Poirier, Ulysse Cote-Allard, Francois Routhier, and Alexandre Campeau-Lecours. Voice control interface prototype for assistive robots for people living with upper limb disabilities. In *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2019 International Conference on*. IEEE, 2019.

- [16] C.L. Fall, Alexandre Campeau-Lecours, Clement Gosselin, and Benoit Gosselin. Evaluation of a wearable and wireless human-computer interface combining head motion and semg for people with upper-body disabilities. In *IEEE International NEWCAS Conference*. IEEE, 2018.
- [17] C.L. Fall, Ulysse Côté-Allard, Quentin Mascret, Alexandre Campeau-Lecours, Clement Gosselin, and Benoit Gosselin. Toward a flexible and modular body-machine interface for individuals living with severe disabilities : a feasibility study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2019.
- [18] Ulysse Cote-Allard, C-L. Fall, Alexandre Campeau-Lecours, Clément Gosselin, Francois Laviolette, and Benoit Gosselin. Deep learning for electromyographic hand gesture signal classification using transfer learning. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2019.
- [19] F. Nougrou, A. Campeau-Lecours, D. Massicotte, M. Boukadoum, C. Gosselin, and B. Gosselin. Pattern recognition based on hd-semg spatial features extraction for an efficient proportional control of a robotic arm. *Biomedical Signal Processing and Control*, 53 :101550, 2019.
- [20] Cheikh Latyr Fall, Gabriel Gagnon-Turcotte, Jean-François Dubé, Jean Simon Gagné, Yanick Delisle, Alexandre Campeau-Lecours, Clément Gosselin, and Benoit Gosselin. Wireless semg-based body-machine interface for assistive technology devices. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 21(4) :967–977, 2017.
- [21] Cheikh Latyr Fall, P Turgeon, Alexandre Campeau-Lecours, V Maheu, Mounir Boukadoum, S Roy, Daniel Massicotte, Clément Gosselin, and Benoit Gosselin. Intuitive wireless control of a robotic arm for people living with an upper body disability. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE*, pages 4399–4402. IEEE, 2015.
- [22] Roxane Crepin, Cheikh Latyr Fall, Quentin Mascret, Clement Gosselin, Alexandre Campeau-Lecours, and Benoit Gosselin. Real-time hand motion recognition using semg patterns classification. In *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 2655–2658. IEEE, 2018.
- [23] U. Côté-Allard, C. L. Fall, A. Drouin, A. Campeau-Lecours, C. Gosselin, K. Glette, F. Laviolette, and B. Gosselin. Deep learning for electromyographic hand gesture signal classification using transfer learning. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 27(4) :760–771, April 2019.
- [24] Cheikh Latyr Fall, Francis Quevillon, Martine Blouin, Simon Latour, Alexandre Campeau-Lecours, Clément Gosselin, and Benoit Gosselin. A multimodal adaptive wi-

- reless control interface for people with upper-body disabilities. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 12(3) :564–575, 2018.
- [25] Audrey Lebrasseur, Josiane Lettre, Francois Routhier, Philippe Archambault, and Alexandre Campeau-Lecours. Assistive robotic arm : Evaluation of the performance of intelligent algorithms. *Assistive Technology Journal*, 2019.
- [26] Audrey Lebrasseur, Josiane Lettre, Francois Routhier, Philippe Archambault, and Alexandre Campeau-Lecours. name. *Assistive Technology Journal*, 2019.
- [27] Jonas Schmidler, Klaus Bengler, Fotios Dimeas, and Alexandre Campeau-Lecours. A questionnaire for the evaluation of physical assistive devices (quead) : Testing usability and acceptance in physical human-robot interaction. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2017 IEEE International Conference on*, pages 876–881. IEEE, 2017.
- [28] Audrey Lebrasseur, Josiane Lettre, François Routhier, Philippe Archambault, and Alexandre Campeau-Lecours. Assistive robotic device : evaluation of intelligent algorithms. *Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America (RESNA)*, 2018.
- [29] Alexandre Campeau-Lecours, Dinh-Son Vu, Frédéric Schweitzer, and Jean-Sébastien Roy. Alternative representation of the shoulder orientation based on the tilt-and-torsion angles. *Journal of Biomechanical Engineering*, 142(7), 2020.
- [30] M. Boyer, A. Frasier, L. Bouyer, J.S. Roy, I. Poitras, and A. Campeau-Lecours. Development and validation of a data fusion algorithm with low-cost inertial measurement units to analyze shoulder movements in manual workers. 2020.
- [31] J. Clouâtre, A. Campeau-Lecours, and V. Flamand. Preliminary development of a wearable device to help children with unilateral cerebral palsy increase their consciousness of their upper extremity. 2020.
- [32] Alexis Fortin-Côté, Jean-Sébastien Roy, Laurent Bouyer, Philip Jackson, and Alexandre Campeau-Lecours. Allumo : Preprocessing and calibration software for wearable accelerometers used in posture tracking. *Sensors*, 20(1) :229, 2020.
- [33] Isabelle Poitras, Mathieu Biemann, Alexandre Campeau-Lecours, Catherine Mercier, Laurent J Bouyer, and Jean-Sébastien Roy. Validity of wearable sensors at the shoulder joint : Combining wireless electromyography sensors and inertial measurement units to perform physical workplace assessments. *Sensors*, 19(8) :1885, 2019.
- [34] Isabelle Poitras, Frédérique Dupuis, Mathieu Biemann, Alexandre Campeau-Lecours, Catherine Mercier, Laurent J Bouyer, and Jean-Sébastien Roy. Validity and reliability of wearable sensors for joint angle estimation : A systematic review. *Sensors*, 19(7) :1555, 2019.

## Annexe A

# Amortissement linéaire ressenti

Les Figures A.1 à A.9 montrent les résultats de l'amortissement linéaire ressenti lorsque des amortisseurs angulaires sont utilisés. Les points d'analyse représentent des points précis de l'espace atteignable du mécanisme, comme présenté à la Figure 3.11. Les lignes en noir représentent les vecteurs propres de la matrice d'amortissement linéaire tandis que les ellipses bleues montrent les valeurs propres de cette matrice.

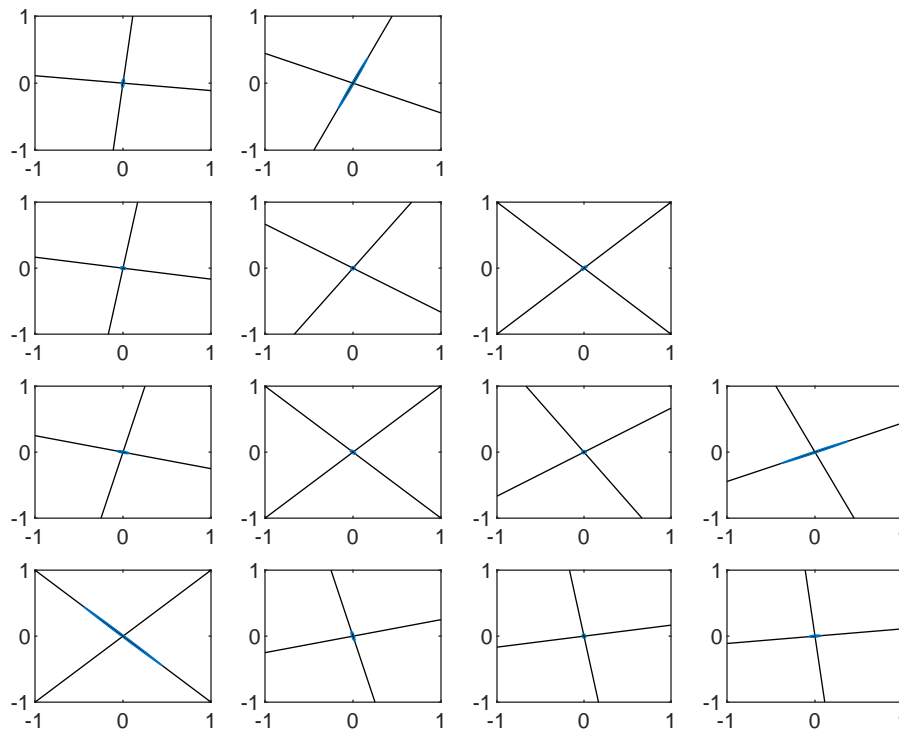


FIGURE A.1 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.2 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.2 \text{ Nm}$ .



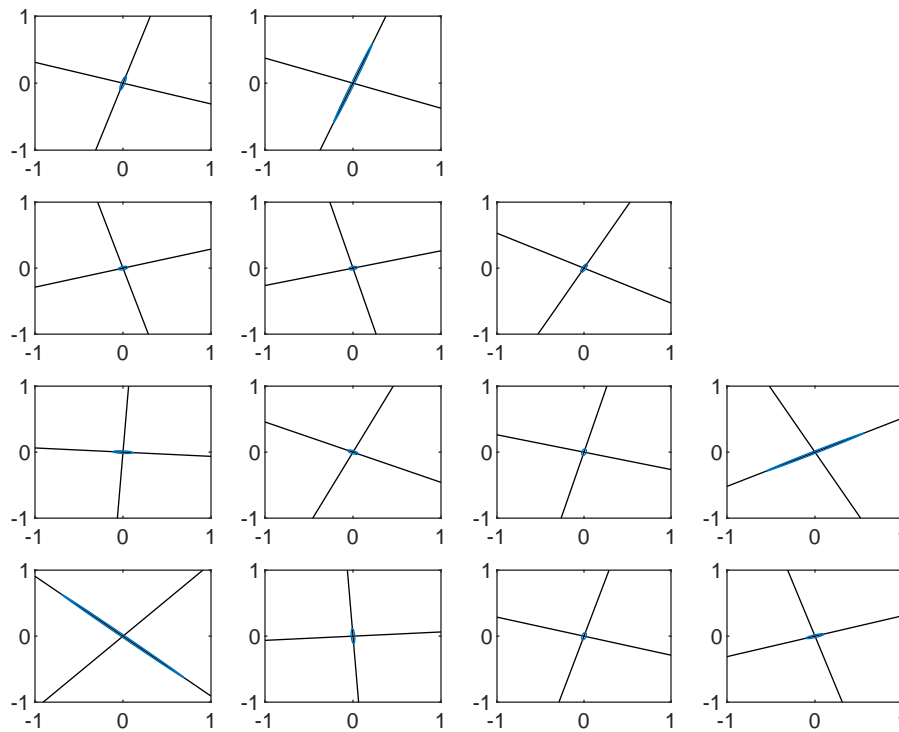


FIGURE A.2 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.2 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.4 \text{ Nm}$ .

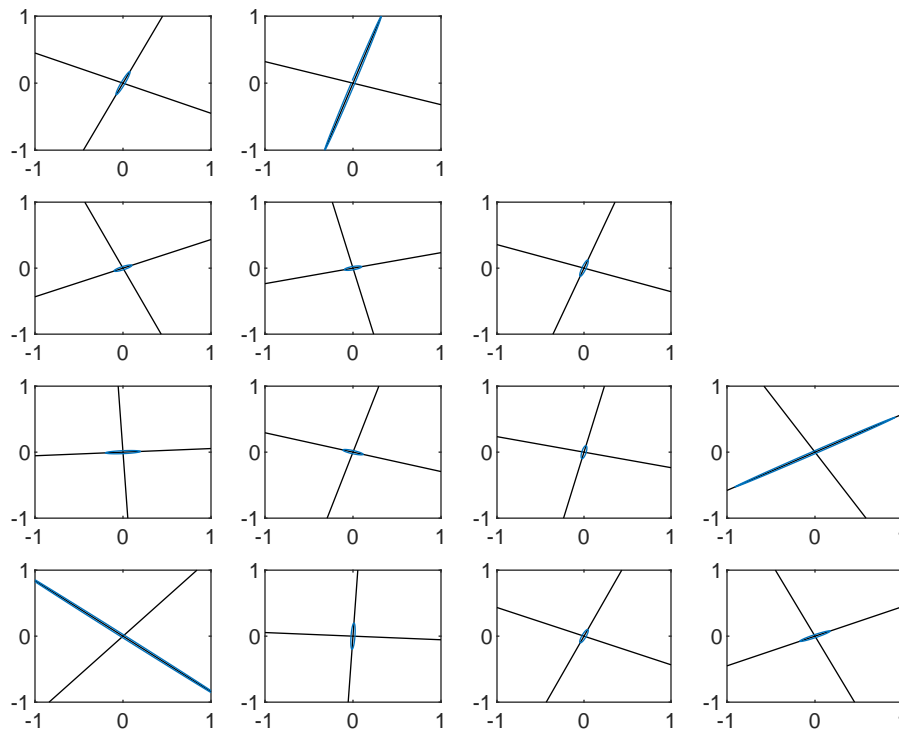


FIGURE A.3 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.2 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.8 \text{ Nm}$ .

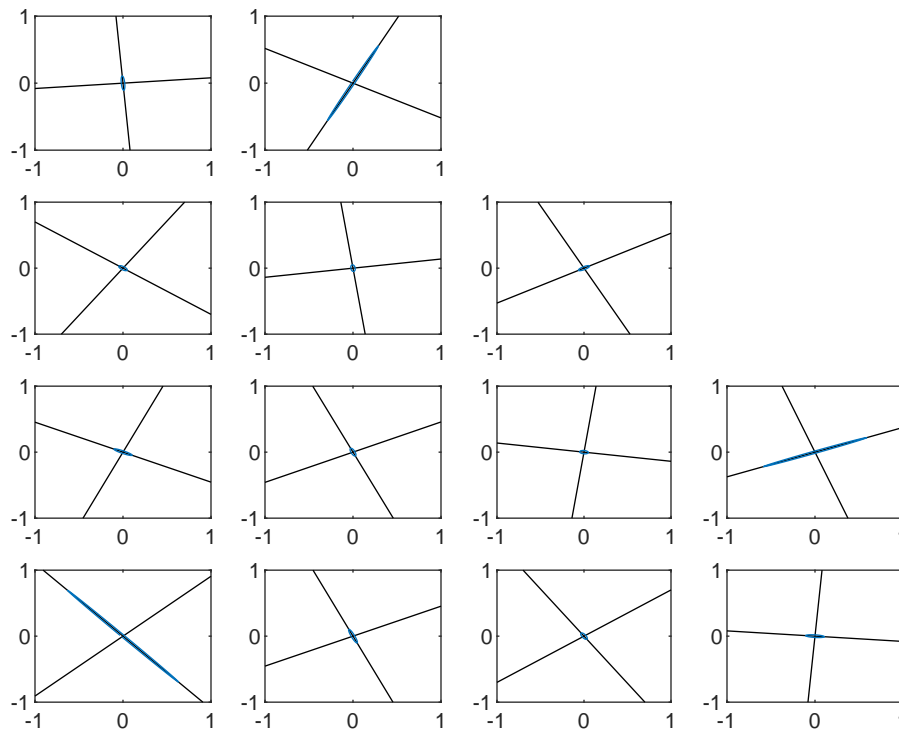


FIGURE A.4 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.4 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.2 \text{ Nm}$ .

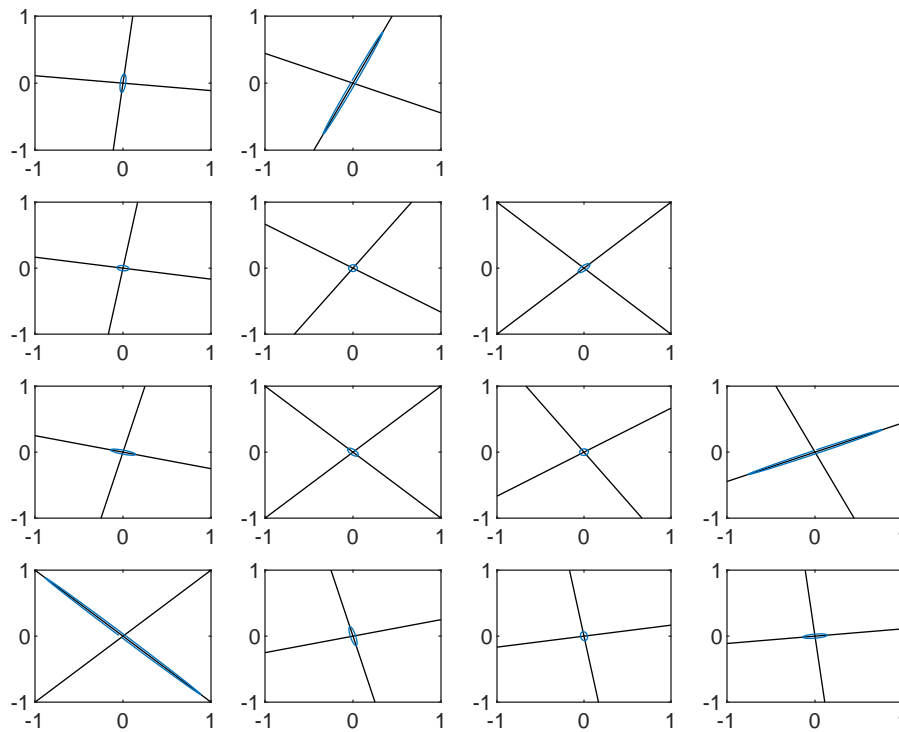


FIGURE A.5 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.4 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.4 \text{ Nm}$ .

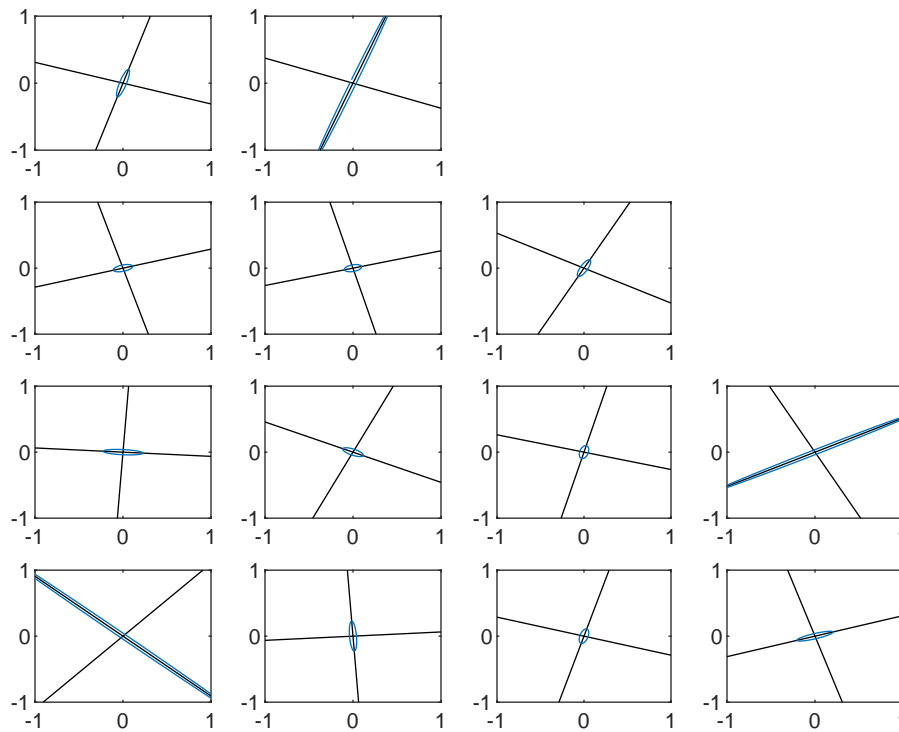


FIGURE A.6 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.4 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.8 \text{ Nm}$ .

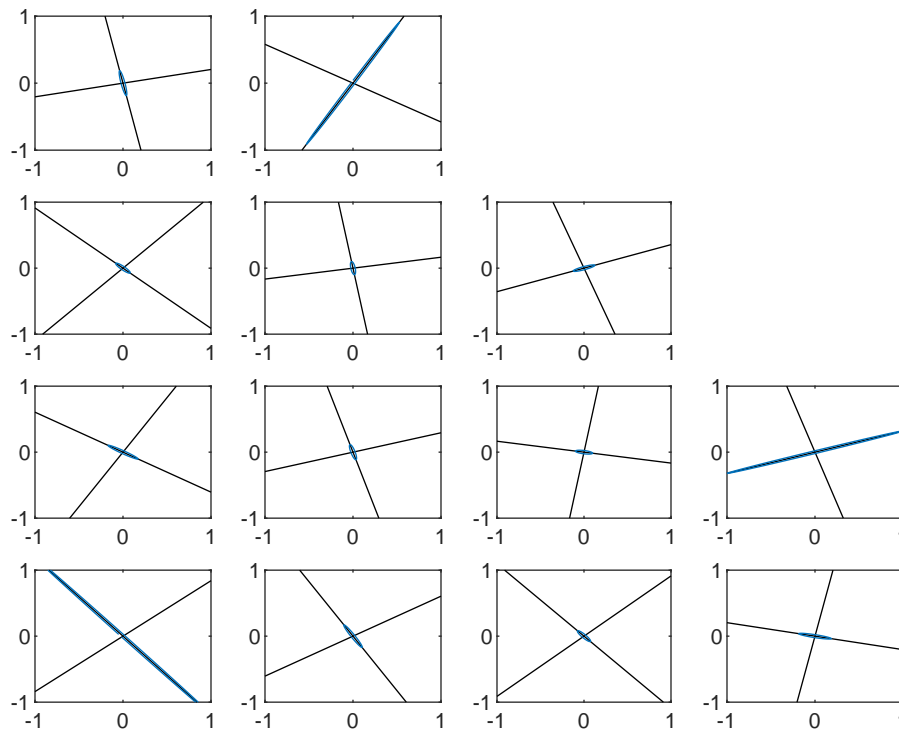


FIGURE A.7 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.8 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.2 \text{ Nm}$ .

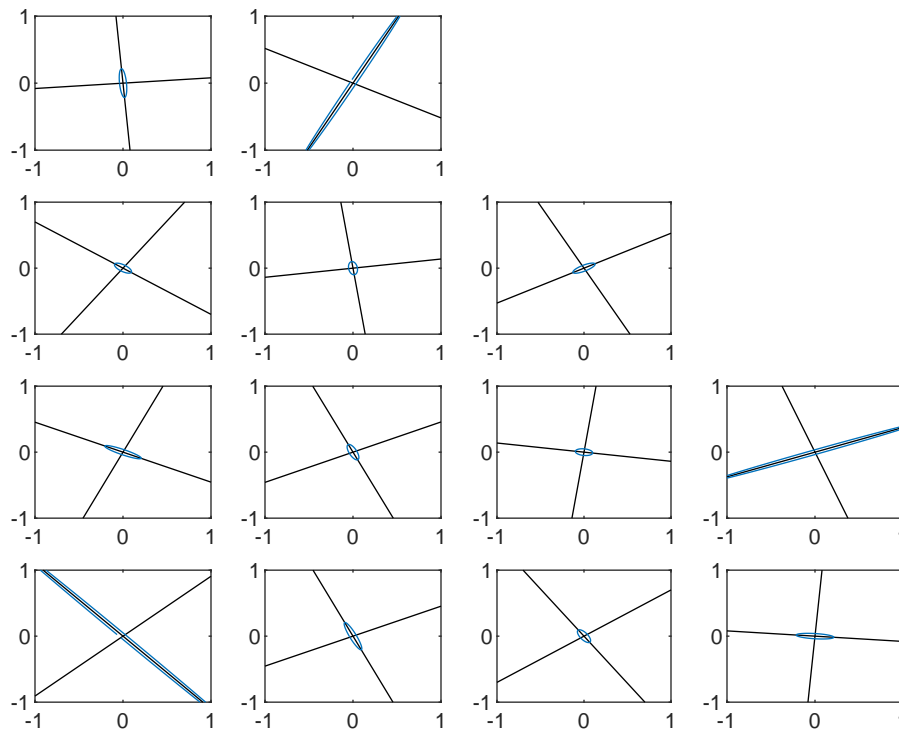


FIGURE A.8 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.8 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.4 \text{ Nm}$ .

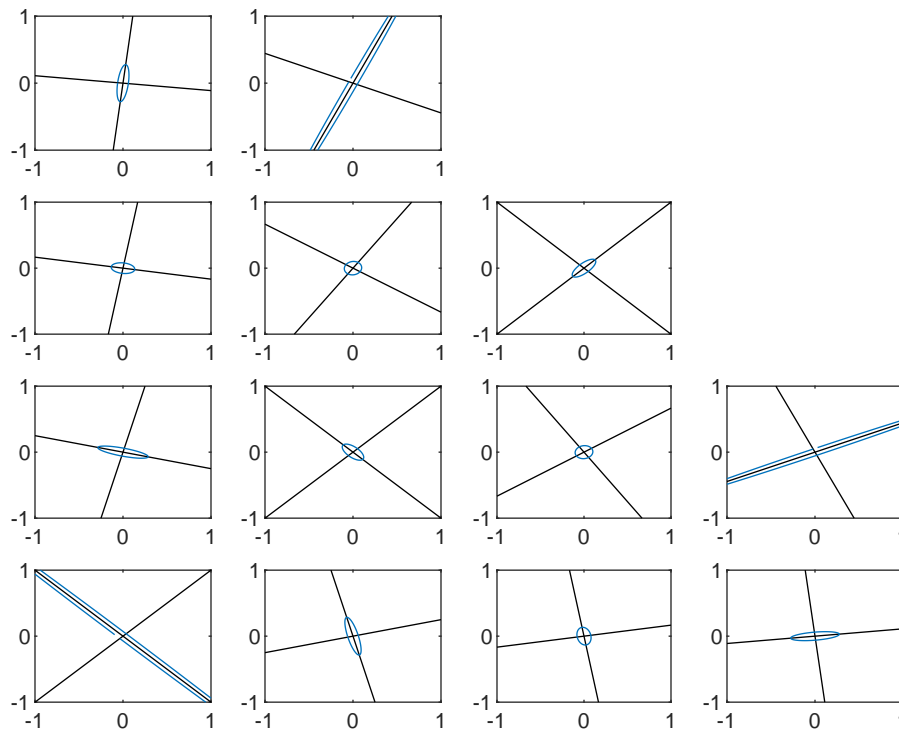


FIGURE A.9 – Vecteurs propres et ellipse des valeurs propres lorsque l’amortissement est :  $c_1=0.8 \text{ Nm}$  et  $c_2=0.8 \text{ Nm}$ .