

**“Se projeter dans le vide  
Se projeter au sol  
Quelles différences motrices ?”**

Rapport de réalisation

*Projet tutoré*

**Étudiants**

BEKADI Douaa  
SEMAAN Adella  
SZABELSKI Marie

**Encadrant**

Dr. Casteran Matthieu

**Relecteur**

Faedda Stéphane

## Résumé

L'objectif de cette étude est de comprendre comment l'organisation spatiale et temporelle d'un mouvement volontaire de pointage du corps entier peut être impactée par la présence visuelle du vide. Pour cela, les sujets ont effectué un mouvement de pointage vers une cible située en contrebas devant eux. Deux conditions ont été comparées. Dans un cas, le sujet se situe au sol, et réalise le mouvement de sa hauteur. Dans l'autre condition, une menace posturale a été réalisée avec un placement de l'individu en position debout sur une table. Les résultats ont révélé que les sujets réalisant le mouvement en hauteur présentent un pic de vitesse de l'index plus élevé, une flexion du tronc plus tardive et flexion plus importante au niveau de la hanche et du genou. En ce qui concerne la tête, il a été observé qu'elle est nettement moins mobile lorsque les individus sont en hauteur.

**Mots clés :** équilibre posturale, mouvement de pointage du corps, peur du vide, menace posturale, contrôle moteur, capture 3D de mouvement

## Abstract

The objective of this study is to understand how the spatial and temporal organization of a voluntary whole-body pointing movement could be influenced by the visual presence of a void. To achieve this, participants performed a pointing movement towards a target located below them. Two conditions were compared. In one case, the participant stood on the ground and performed the movement from their own height. In the other condition, a postural threat was induced by placing the individual in a standing position on a table. The results revealed that participants performing the movement from an elevated position exhibit a higher peak velocity of the index finger, a delayed trunk flexion, and a greater flexion at the hip and knee. Regarding the head, it was observed that it is significantly less mobile when individuals were in an elevated position.

**Keywords:** postural balance, whole-body pointing movement, fear of heights, postural threat, motor control, motion capture.

# Table des matières

<b>Partie I - Présentation du sujet.....</b>	<b>4</b>
Présentation du cadre.....	4
Explicitation du problème.....	4
<b>Partie II - Projet de recherche.....</b>	<b>6</b>
1. Introduction.....	6
2. Matériel et méthode.....	7
2.1. Participants.....	7
2.2. Tâche motrice.....	7
2.3. Procédure.....	8
2.4. Collecte des données.....	8
2.5. Traitement des données.....	9
2.5.1. Phase active du mouvement.....	9
2.5.2. Filtrage.....	9
2.5.3. Calcul des angles.....	9
2.6. Analyses statistiques.....	10
3. Résultats.....	11
3.1. Organisation temporelle.....	11
3.1.1. Pic de vitesse du mouvement.....	11
3.1.2. Intersection entre la courbe du genou et de la hanche.....	12
3.2. Organisation spatiale.....	13
3.2.1. Variation des angles de la tête, de la hanche, du genou et de la cheville au cours du mouvement de pointage du corps entier.....	13
3.2.2. Variation de l'angle du genou au cours du mouvement.....	15
3.2.3. Variation de l'angle de la hanche.....	16
3.2.4. Variation de l'angle de la tête par rapport à la verticale.....	17
3.3. Questionnaire final.....	18
4. Discussion.....	18
4.1. Organisation temporelle.....	19
4.2. Organisation spatiale du mouvement.....	19
<b>Partie III - Conclusion du projet.....</b>	<b>23</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>25</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>30</b>

## **Remerciements**

Nous tenions à exprimer nos sincères remerciements à notre tuteur Matthieu Casteran pour le savoir-faire qu'il nous a transmis tout au long de cette année, ainsi que pour l'aide précieuse qu'il nous a apportée afin de mener à bien ce projet dans les meilleures conditions.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les relecteurs Matthieu Casteran et Faedda Stéphane, pour le temps qu'ils ont consacré à la relecture, et pour leurs retours constructifs sur le premier rapport qui nous ont permis d'améliorer la qualité de notre travail.

Nous aimerions également adresser nos remerciements à l'établissement UFR SciFA de Metz qui nous a accueillies et mis à disposition le matériel nécessaire pour la réalisation de ce projet. Son soutien a été essentiel pour la réussite de ce dernier.

Enfin, nous tenions à remercier chaleureusement Mathieu d'Aquin, responsable du Master 1 en Sciences Cognitives, ainsi que Manuel Rebuschi, responsable du Master, qui nous ont offert l'opportunité de concrétiser un projet d'une telle envergure. Cette initiative nous permet de valoriser notre diplôme et de vivre une expérience professionnalisante enrichissante.

# **Partie I - Présentation du sujet**

## *Présentation du cadre*

Dans le cadre du projet tutoré de 1<sup>ère</sup> année de Master en Sciences Cognitives, nous avons réalisé un projet s'intitulant « se projeter dans le vide, se projeter au sol : quelles différences motrices ? » qui s'inscrit dans l'axe thématique « Cognition, Emotion, Action » (CEmA) de l'unité de recherche 2LPN (Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la dynamique des comportements). Le projet a pour but de comprendre comment le sujet traite la peur de chuter. Pour cela, nous avons à disposition une passerelle et un outil de capture 3D du mouvement. Nous avons alors réalisé un travail de recherche complet afin de répondre à cette problématique. L'objectif de ce sujet était de comprendre comment la posture d'un individu peut être modifiée lorsqu'il se penche dans le vide, ou face au sol, pour toucher une cible en contrebas. Nous avons alors affiné la problématique et réalisé des recherches bibliographiques sur les notions abordées afin de comprendre le contexte scientifique. À partir de cela, nous avons explicité le protocole et nous l'avons mis en œuvre afin de récolter les données et les analyser statistiquement pour répondre au problème.

## *Explicitation du problème*

Le cœur du sujet est de s'interroger sur les différences qui peuvent ou non exister entre une personne jeune et saine lorsqu'elle se penche pour toucher une cible de sa hauteur, comparée à une situation où elle doit se pencher dans le vide. La problématique abordée est avant tout un élément de curiosité scientifique, mais il est vrai que la réponse pourra sûrement amener à des pistes de réflexions à propos de la saisie d'un objet en contrebas. Elle peut amener à un grand nombre d'interprétations et d'approches différentes, faisant appel à différents champs disciplinaires tels que la posturométrie, mais également les neurosciences du contrôle moteur et la peur du vide. La partie bibliographique que nous avons réalisée au premier semestre nous a donné l'occasion d'établir un état des lieux des connaissances actuelles sur la thématique afin de se projeter dans la compréhension du sujet, mais également de noter les différentes approches qui ont été réalisées par d'autres chercheurs.

Le mouvement d'un corps humain est complexe. Il s'organise d'un point de vue spatial et temporel, faisant appel à un ensemble de muscles et d'articulations qui se coordonnent à l'aide du système nerveux central. Dans la littérature, le mouvement et la posture ont été étudiés à l'aide de différents facteurs tels que le centre de masse, déplacé lors d'un déséquilibre ; et les ajustements posturaux, marqués par des forces articulaires passives ainsi que la contraction et décontraction de certains muscles. Il a été mis en évidence l'utilisation d'un ensemble de techniques afin d'étudier ces marqueurs et leurs variations lors des mouvements. Par des contraintes matérielles mais également de temps

et de complexité, nous avons décidé de ne pas prendre en considération la partie musculaire lors de ce projet, puisqu'il nécessitait un électromyogramme. Nous avons opté pour un système de capture 3D, un outil simple d'approche qui permet de visualiser le mouvement réalisé par un individu à l'aide de capteurs afin d'étudier les angles de la posture. C'est sur ce dernier point que nous nous sommes intéressés principalement : cela permet d'étudier les ajustements posturaux liés aux stratégies de la hanche, du genou et de la cheville. Ainsi, nous avons pu voir si en présence du vide, la seule condition changeante, la posture aurait des angles moins importants, que s'il était absent. Cela prend en compte l'aspect de l'organisation spatiale du mouvement. Nous avons également étudié en parallèle la partie temporelle, avec la vitesse de réalisation du pointage dans le but de savoir si le mouvement est plus lent lorsque le sujet est face au vide. Par la suite, d'autres éléments ont été abordés, plus succinctement, mais il a été vu lors de la bibliographie des éléments du système nerveux tel que la planification d'une action, mais également le comportement de peur en présence du vide et l'impact d'une menace posturale sur un mouvement. Nous avons fait alors un parallèle entre les résultats obtenus et ces éléments, en particulier grâce à un questionnaire interrogeant sur la peur ressentie par les participants lors de la condition en hauteur, mais également la peur générale du vide. Ceci peut alors permettre de proposer une potentielle corrélation avec une hésitation ou une peur possible.

En outre, durant ces deux semestres, nous avons ainsi pu appréhender la réalisation et la concrétisation d'un projet de recherche scientifique dans le domaine des neurosciences. En effet, nous avons réalisé dans un premier temps une bibliographie complète de l'état de l'art dans les disciplines du mouvement, de l'équilibre, de la proprioception, entre autres. Grâce à ces éléments, nous avons pu imaginer en fonction des contraintes imposées, un protocole que nous avons mis en œuvre dans les locaux de UFR SciFA de Metz. Une fois l'expérience réalisée, les données ont été récupérées et analysées afin de conclure sur la problématique et de soulever des points critiquables.

## **Partie II - Projet de recherche**

### *1. Introduction*

La posture est régie par un ensemble de mécanismes complexes qui est impacté par l'environnement. De nombreuses études ont mis en évidence les éléments définissant la composition du mouvement. Massion précise que le mouvement englobe des notions telles que la posture : la position relative de tous les segments du corps à un moment donné (Massion, 1997, p.48) et l'équilibre : un terme global décrivant les changements de la posture corporelle pour prévenir de la chute (Palmieri et al., 2002). L'équilibre est maintenu grâce au contrôle postural, qui s'adapte en fonction des contraintes internes telles que la gravité et la masse corporelle, et externes telles que la vision du vide (Lion, 2010). C'est le système nerveux central qui ajuste les mouvements posturaux par des mécanismes automatiques ou réactionnels. C'est pourquoi l'afférence sensorielle joue un rôle crucial dans l'équilibre, impliquant les systèmes visuel, vestibulaire et somesthésique. L'organisation temporelle du mouvement concerne la séquence des ajustements et comprend des mécanismes anticipatoires et compensatoires. Les ajustements posturaux sont effectivement liés à la coordination des muscles et des articulations. Ainsi, ces marqueurs permettent de définir et de comprendre la posture. Ce sont sur ces éléments que se sont appuyées diverses recherches qui comparent le mouvement en fonction de contraintes environnementales variées telles que les menaces posturales. Ces dernières peuvent être provoquées de différentes manières comme par une translation du support où se situe le sujet (Phanthanourak et al., 2016) ou un changement de hauteur (Zaback et al., 2016, Cleworth et al., 2016). Ce dernier point a été mis en évidence pour un mouvement de lever d'orteil sur une plateforme élevée par rapport au sol, qui prouve une différence de comportement moteur dans cette condition. (Adkin et al., en 2002). En outre, des études complémentaires révèlent que chaque type de menace posturale entraîne des réactions différentes (Phanthanourak et al., 2016).

Ceci nous amène alors à nous questionner sur les différences motrices lors d'un mouvement de pointage du corps en cas de menace posturale provoquée par la hauteur. Pour cela, il sera étudié la posture chez des individus jeunes et sains lorsqu'ils se penchent dans le vide et se penchent vers le sol pour toucher une cible en contrebas, et ainsi répondre à la problématique de « se projeter dans le vide, se projeter au sol : quelles différences motrices ? ». Cette étude examine alors comment ces individus s'adaptent à la présence de vide lorsqu'ils effectuent une tâche de pointage du corps entier, et comment cette adaptation se manifeste dans les caractéristiques spatiales au niveau de l'angulation de la hanche et du genou; et temporelles, par rapport à la vitesse de réalisation du mouvement et l'enchaînement des angles de compensation. Pour cela, neuf adultes sans troubles de santé majeurs ont participé à l'étude. Les données ont été collectées à l'aide d'un système de capture de mouvement en 3D, pour analyser les ajustements posturaux en

termes d'angles ainsi que la vitesse du mouvement. L'analyse de ces données permet d'explorer les effets de la vision du vide sur la posture et le mouvement, ainsi que d'apporter des éléments de réponse à la problématique posée.

## *2. Matériel et méthode*

### 2.1. Participants

Neuf adultes, sans troubles de santé majeurs, comprenant cinq femmes et quatre hommes (âge moyen : 24 ans +/- 3 ans; taille moyenne : 169 cm +/- 8,8 cm ) ont pris part à l'étude. Les critères de sélection incluent les éléments suivants : les participants ne devaient pas avoir le vertige, ne devaient pas présenter de troubles neurologiques préexistants ou de pathologie des membres inférieurs et/ou supérieurs. Les participants devaient avoir une vision normale ou corrigée à la normale. La dominance de la main a été autodéclarée par les participants. Ils se définissent tous comme droitiers. Tous les participants ont donné leur consentement par écrit avant de participer à l'étude ([Annexe 1](#)).

### 2.2. Tâche motrice

Deux conditions sont étudiées. Dans la première condition, le participant se tient debout sur le sol, tandis que dans la deuxième condition, il se tient debout sur une table de 80 cm de hauteur, les pieds au bord de la table. Cette hauteur a été définie en tant que menace posturale faible à moyenne en utilisant la littérature (Davis et al., 2009; Cleworth et al., 2016; Zaback et al., 2016).

Tous les participants ont effectué un mouvement d'atteinte de tout le corps (appelé Whole Body Reaching), utilisé et validé par des procédures expérimentales antérieures (Casteran et al., 2013; Pozzo, et al. 2002). Il a été demandé au participant de toucher simultanément avec leurs deux index deux cibles (4x2cm), séparées par une distance de 0,5cm de leur centre et positionnées sur un morceau de bois. Les cibles étaient placées à 30% de la taille du participant en hauteur (plan vertical) et dans le plan antéro-postérieur (plan horizontal) ([Figure 1](#)). Les mesures de distance ont été prises à partir de l'extrémité distale du gros orteil de chaque participant. Ils ont positionné leurs mains de telle manière que l'éminence hypothénar soit en contact avec leurs cuisses, en position verticale. Seul l'index était maintenu tendu tandis que les autres doigts étaient fléchis. La hauteur était la seule contrainte imposée aux participants. La réalisation du mouvement avait un rythme auto-sélectionné par le sujet.



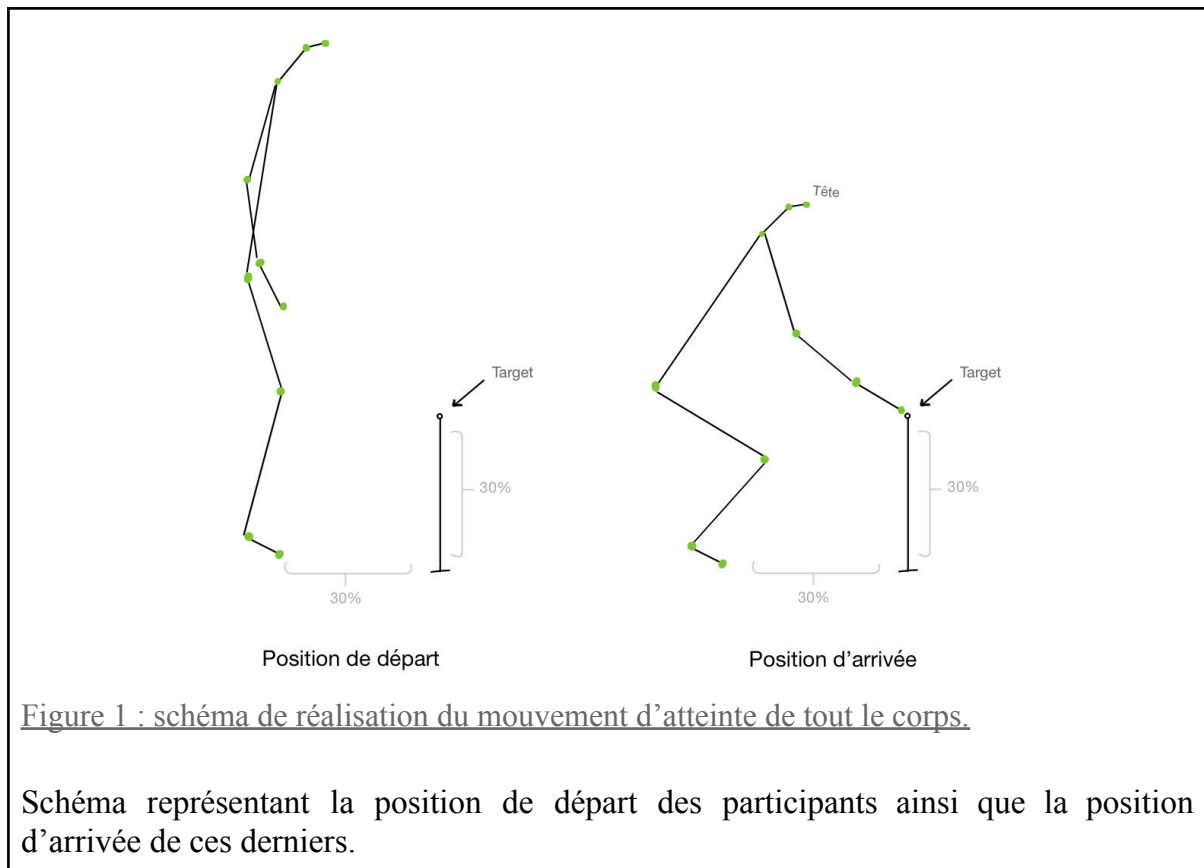


Figure 1 : schéma de réalisation du mouvement d'atteinte de tout le corps.

Schéma représentant la position de départ des participants ainsi que la position d'arrivée de ces derniers.

### 2.3. Procédure

Le choix de l'ordre de passage des sujets en hauteur ou au sol a été déterminé de manière aléatoire afin d'éviter tout biais d'apprentissage. Les participants ont dû laisser apparaître les parties du corps essentielles pour l'expérience afin de positionner les capteurs sur une peau dénudée.

Il a été effectué 2 à 3 mouvements préliminaires avant l'enregistrement des données pour permettre la familiarisation au mouvement par le participant. Puis, un bloc de 10 essais par condition a été enregistré par participant avec une pause entre chaque bloc, soit 20 essais au total pour un participant.

À la fin de l'expérience, une vérification des données est réalisée afin de vérifier si l'enregistrement ne présentait pas de manque ou de problématique de perte de marqueur. Un questionnaire sur la peur a également été complété par les participants ([Annexe 2](#)).

### 2.4. Collecte des données

La collecte et le traitement des données ont été réalisés en utilisant une technique de capture de mouvement en 3D. Un système de motion capture de Qualisys (fréquence d'échantillonnage 100 Hz), composé de huit caméras a été utilisé afin de capturer la cinématique du mouvement en 3 dimensions (3D). Les caméras ont été positionnées sur des trépieds au sol, en arc de cercle autour du côté gauche des sujets. Le modèle suivit

pour le positionnement et le nombre de marqueurs a été utilisé et approuvé par plusieurs études antérieures (Casteran et al., 2013; Berret et al., 2019). Ainsi, dix marqueurs rétro-réfléchissants (2 cm) ont été placés à divers endroits anatomiques du côté gauche du corps (canthus externe de l'œil, méat auditif, processus acromial, condyle huméral, processus styloïde ulnaire, apex de l'index, grand trochanter, espace articulaire interstitiel du genou, malléole externe et cinquième tête métatarsienne du pied).

Le système de motion capture de *Qualisys*, en combinaison avec les caméras et les marqueurs, a permis de recueillir avec précision des données sur le mouvement de l'hémicorps des participants. Cette approche a fourni des informations détaillées sur les mouvements spécifiques étudiés ([Annexe 3](#)).

## 2.5. Traitement des données

Tous les traitements ont été réalisés à l'aide du langage de programmation Python ([Annexe 4](#)).

### 2.5.1. Phase active du mouvement

La phase active du mouvement a pour début le moment où la vitesse du doigt dépasse 5 % de sa vitesse maximale sans retomber en dessous de cette valeur et la fin est atteinte lorsque la vitesse du doigt passe en dessous de ce seuil de 5 %.

### 2.5.2. Filtrage

L'ensemble du traitement des positions des marqueurs qui ont été récupérés à l'aide du logiciel *Qualisys Track Manager* ont été traités grâce à un ensemble de programme Python. En amont des calculs, les signaux de la position des marqueurs ont été filtrés afin de réduire les artefacts et bruits indésirables lors des mouvements. Pour cela, il a été appliqué comme les études précédentes ont validé (Casteran et al., 2013), un filtre passe-bas Butterworth de quatrième ordre à une fréquence de coupure de 10 Hz, à l'aide de la librairie *scipy.signal* et des fonctions Python *butter*, *filtfilt*.

### 2.5.3. Calcul des angles

Les coordonnées de chaque capteur relié à un endroit particulier du corps du participant ont été récupérées afin de déterminer la norme des vecteurs pour chaque élément d'intérêt et ont permis de trouver l'angle, après conversion, en degrés, pour les articulations suivantes : l'angle de la hanche, du genou et de la cheville. L'angle de la tête a été calculé entre le vecteur de la verticalité et le vecteur oreille-œil ([Figure 2](#)).

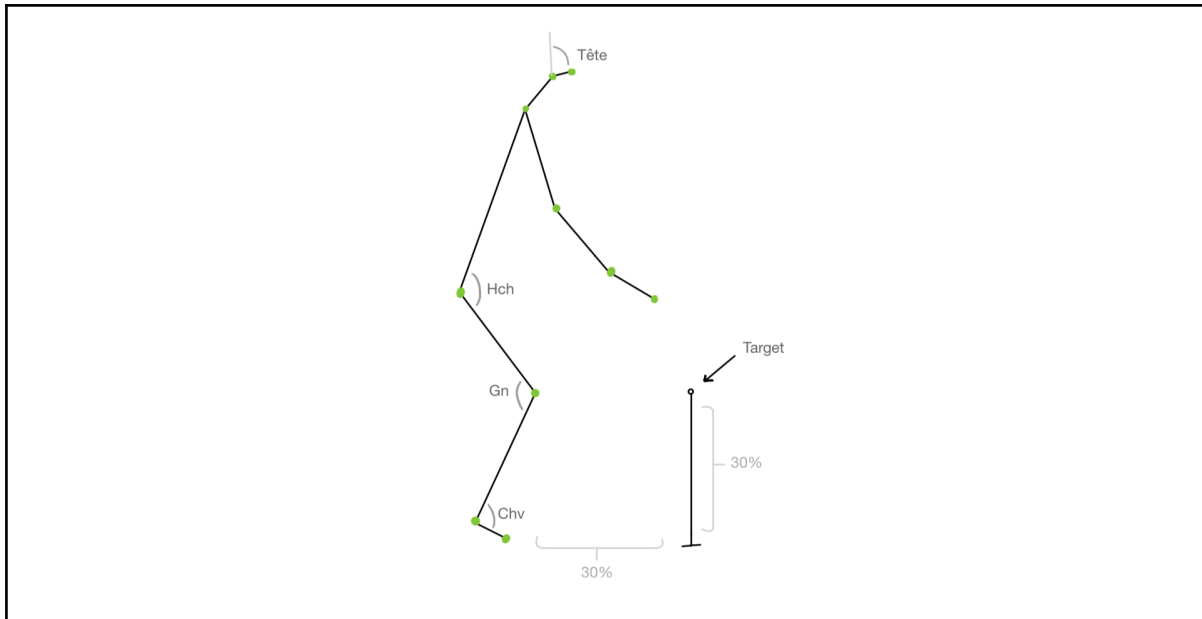


Figure 2. Schéma représentant les angles étudiés et le mouvement réalisé.

Schéma représentant le modèle d'angles utilisé lors de l'expérience du mouvement de pointage du corps entier vers une cible placée à 30% sur l'axe vertical et horizontal par rapport au sujet. (Hch : hanche, Gn : genou, Chv : cheville).

L'amplitude de chaque déplacement angulaire a été définie comme la valeur absolue de la différence entre l'angle maximal et l'angle minimal.

## 2.6. Analyses statistiques

Les tests vérifiant les conditions paramétriques qui ont été utilisés sont les suivants : le test de Shapiro Wilk afin de vérifier la normalité des distributions, et le test de Levene pour confirmer l'homogénéité des variances entre les distributions étudiées. Dans le cadre des tests paramétriques, il a été mis en place un test d'analyse des variances à mesures répétées (ANOVA) et lorsque les conditions n'étaient pas respectées, il a été réalisé un test d'ANOVA non paramétrique à mesure répétée (de Friedman). Les résultats ont été considérés comme statistiquement significatifs si la valeur de p était inférieure à 0.05, indiquant un seuil de confiance de 95 % pour rejeter l'hypothèse nulle. Le test post hoc a été effectué à l'aide d'un Tukey HSD. L'implémentation de ces tests a été réalisée en utilisant le logiciel Jamovi.

Il a également été réalisé une matrice de corrélation à l'aide de la librairie de Python *pandas*, *matplotlib.pyplot* et *seaborn*.

### 3. Résultats

Dans cette partie, il sera résumé l'analyse du mouvement de pointage du corps entier dans la condition au sol et en hauteur en utilisant deux axes. L'organisation temporelle avec le pic de vitesse réalisé lors du mouvement ainsi qu'avec l'enchaînement d'angles de compensation, et l'organisation spatiale avec l'analyse de la différence d'angulation du genou au cours du mouvement. En outre, une partie a été consacrée à la compréhension des résultats par une mise en parallèle avec le questionnaire post-expérience interrogeant sur la peur du vide.

#### 3.1. Organisation temporelle

##### 3.1.1. Pic de vitesse du mouvement

En fonction des conditions en hauteur ou au sol, les résultats mettent en évidence une différence significative au sein de la population : globalement, les participants ont un pic de vitesse plus grand pour la condition en hauteur (Figure 3).

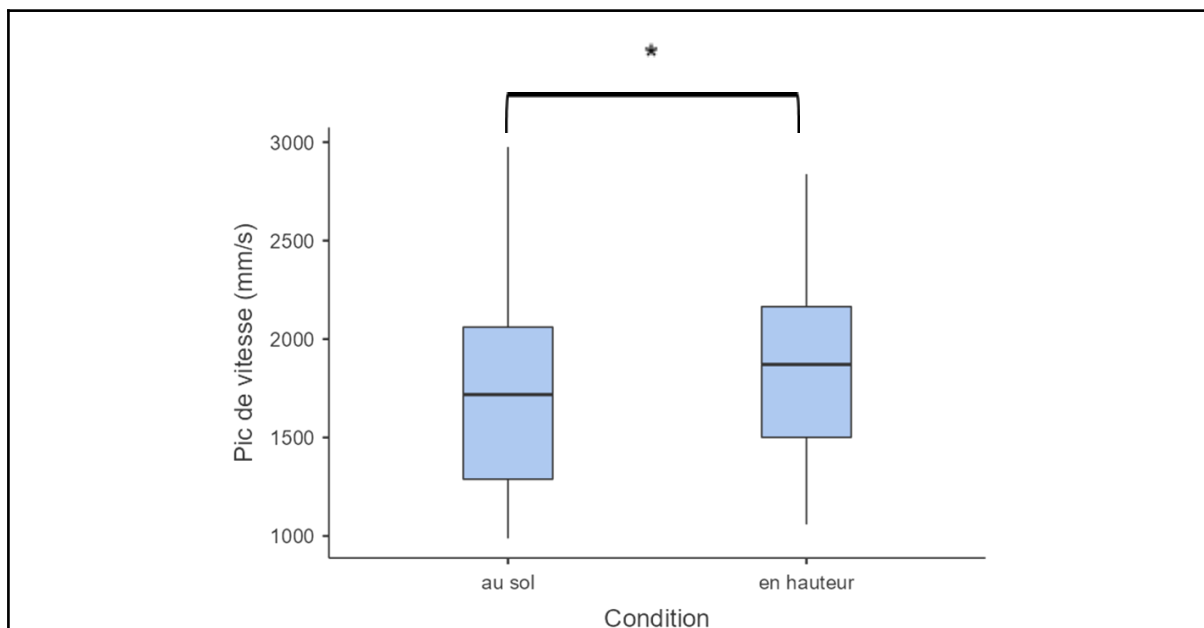


Figure 3. Boxplot représentant le pic de vitesse en fonction des conditions au sol ou en hauteur pour l'ensemble des participants.

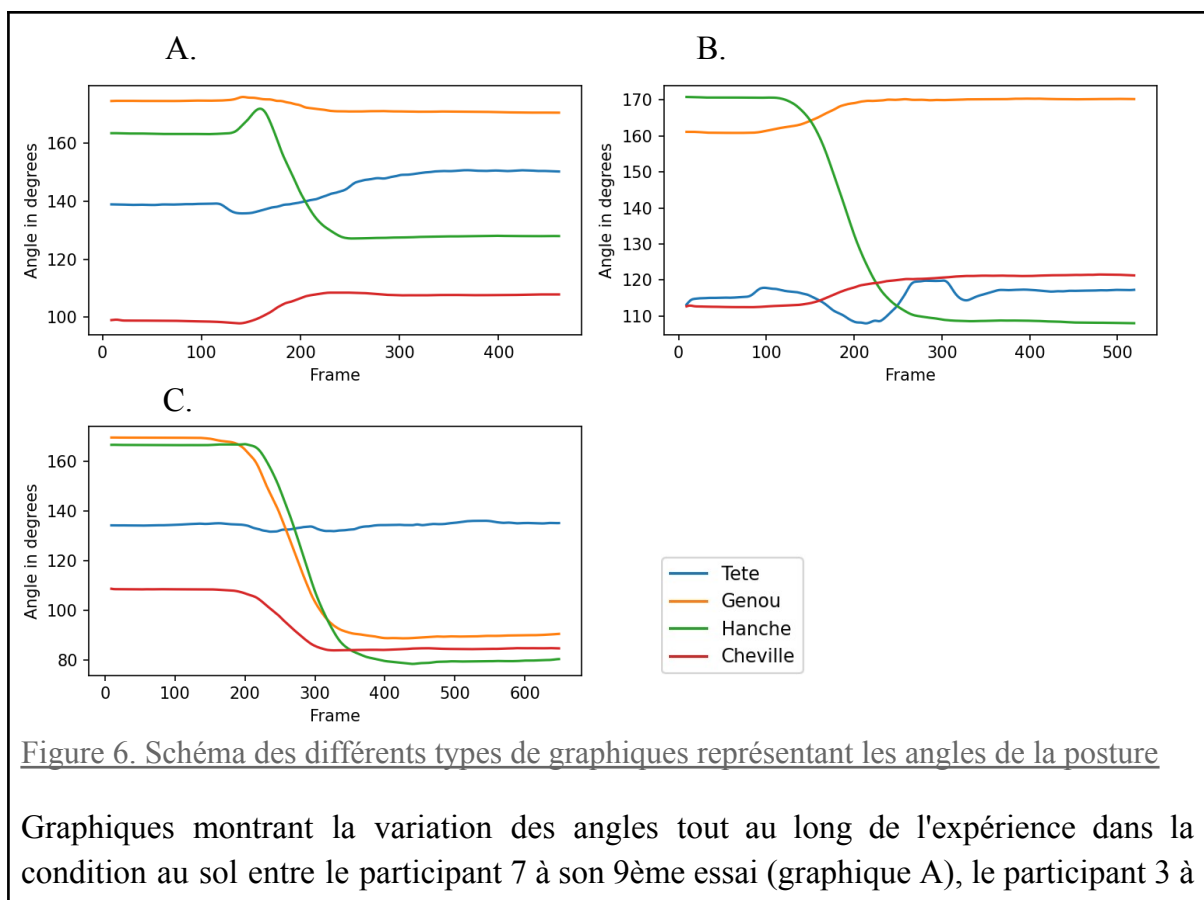
Il existe une différence significative, avec un seuil de risque de 5%, indiquant que les deux distributions sont différentes (\*  $p < 0.05$ ). Cela met alors en évidence un pic de vitesse plus élevé lorsque le participant se positionne en hauteur pour la réalisation du mouvement.

### 3.1.2. Intersection entre la courbe du genou et de la hanche

Par la suite, il a été réalisé un calcul de crossing-over c'est-à-dire une analyse de l'intersection entre la courbe de l'évolution de l'angle du genou et celle de la hanche afin de comprendre l'organisation spatiale du mouvement en mettant en évidence l'enchaînement d'angles de compensation.

Dans ce cas, il a été mis en évidence 3 cas de figure distincts ([Figure 6](#)) : dans un des cas, les courbes ne se rencontrent pas, dans l'autre, elles se rencontrent au niveau d'un seul point, et dans le dernier, au niveau de deux ou plusieurs points distincts. Il a été alors analysé le nombre d'intersections, mais les tests statistiques ne mettent pas en évidence une différence significative entre la condition au sol ou en hauteur en ce qui concerne le nombre d'intersections entre la courbe des angles du genou et celles des angles de la hanche. Cependant, il a été observé que la majorité des participants (6 sur 9) initie le mouvement avec un angle de la hanche supérieur à l'angle du genou. Néanmoins, tous les participants terminent le mouvement avec un angle du genou supérieur à l'angle de la hanche.

De la même manière a été analysé le ratio de la première intersection entre ces deux courbes sur la durée totale du mouvement. Une différence significative a été trouvée entre les deux conditions. Ce ratio est en moyenne inférieur dans la condition au sol.



son 5ème essai (graphique B) et le participant 1 à son 3ème essai (graphique C). Ces graphiques représentent les trois types observés d'intersection entre l'angle du genou et l'angle de la hanche : aucune intersection (graphique A), une seule intersection (graphique B), deux ou plusieurs intersections (graphique C).

### 3.2. Organisation spatiale

#### 3.2.1. Variation des angles de la tête, de la hanche, du genou et de la cheville au cours du mouvement de pointage du corps entier

L'analyse des graphiques représentant la variation des angles de chaque passage pour chaque participant tout au long de l'expérience dans la condition au sol et en hauteur montre des différences qui sont intéressantes à analyser.

##### 3.2.1.1. En condition au sol

L'étude des différents graphiques représentant la variation des angles étudiés au cours du temps met en évidence des motifs différents lors de la réalisation du mouvement.

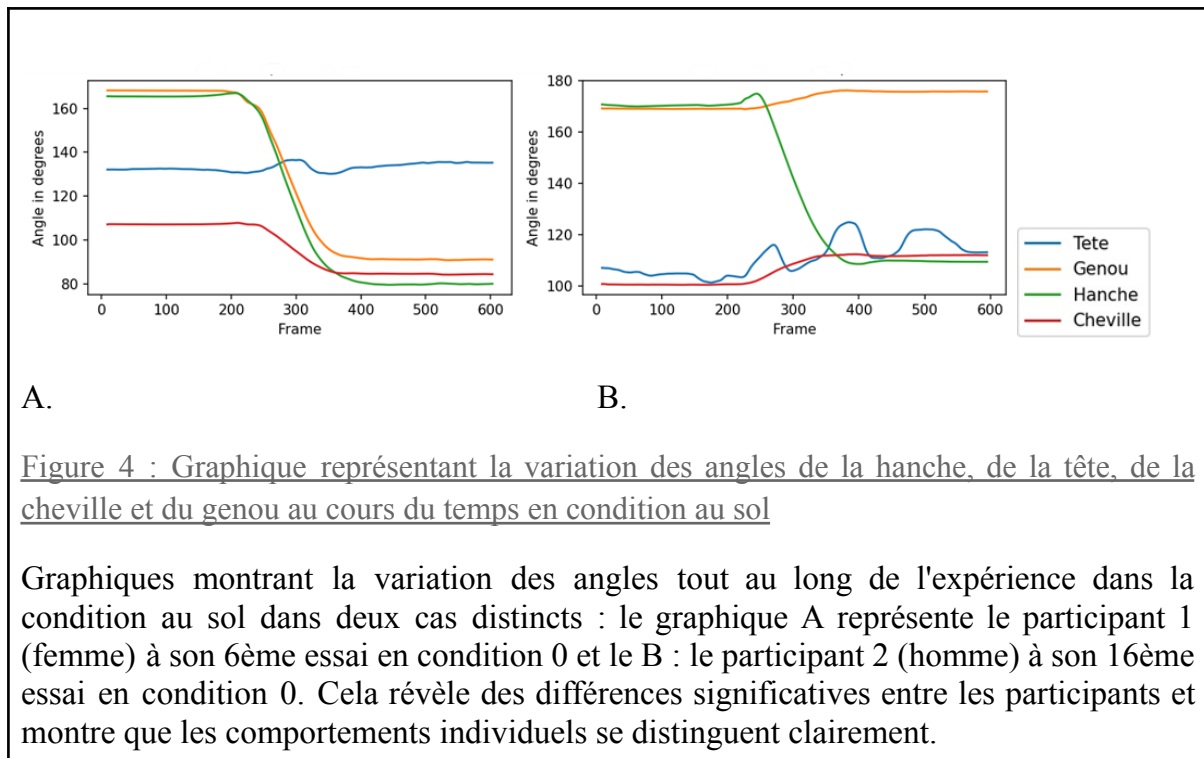
Par exemple, dans le cas du participant 1 ([Figure 4](#)), qui montre l'analyse de la variation des angles lors du mouvement chez une femme, permet de voir une diminution abrupte de l'angle du genou, passant de 175 degrés à 90 degrés, indiquant une flexion importante du genou pendant le mouvement. En revanche, le participant 2, qui est un homme, maintient une ligne relativement stable, avec un angle du genou d'environ 175 degrés, ce qui suggère une absence de flexion significative.

Concernant l'angle de la hanche, les courbes du participant 1 et du participant 2 sont similaires.

Cependant, l'angle de la tête présente des variations distinctes entre les deux. Le participant 1 maintient une relative stabilité avec un angle d'environ 125 degrés, avec une augmentation à 140 degrés au milieu du mouvement, indiquant une légère ondulation ou vague. En revanche, le participant 2 commence avec un angle de la tête moins important, d'environ 110 degrés et présente des fluctuations tout au long du mouvement, généralement comprises entre 100 et 125 degrés.

En ce qui concerne l'angle de la cheville, le participant 1 commence avec un angle d'environ 105 degrés, qui diminue jusqu'à 80 degrés au milieu du mouvement, puis se stabilise. Le participant 2, quant à lui, commence avec un angle similaire au participant 1, d'environ 100 degrés, mais qui augmente jusqu'à environ 110 degrés au milieu du mouvement, puis se stabilise également.

Ainsi, ces deux participants mettent en lumière les deux patterns possibles adoptés par les sujets de l'expérimentation, en particulier en lien avec le sexe.



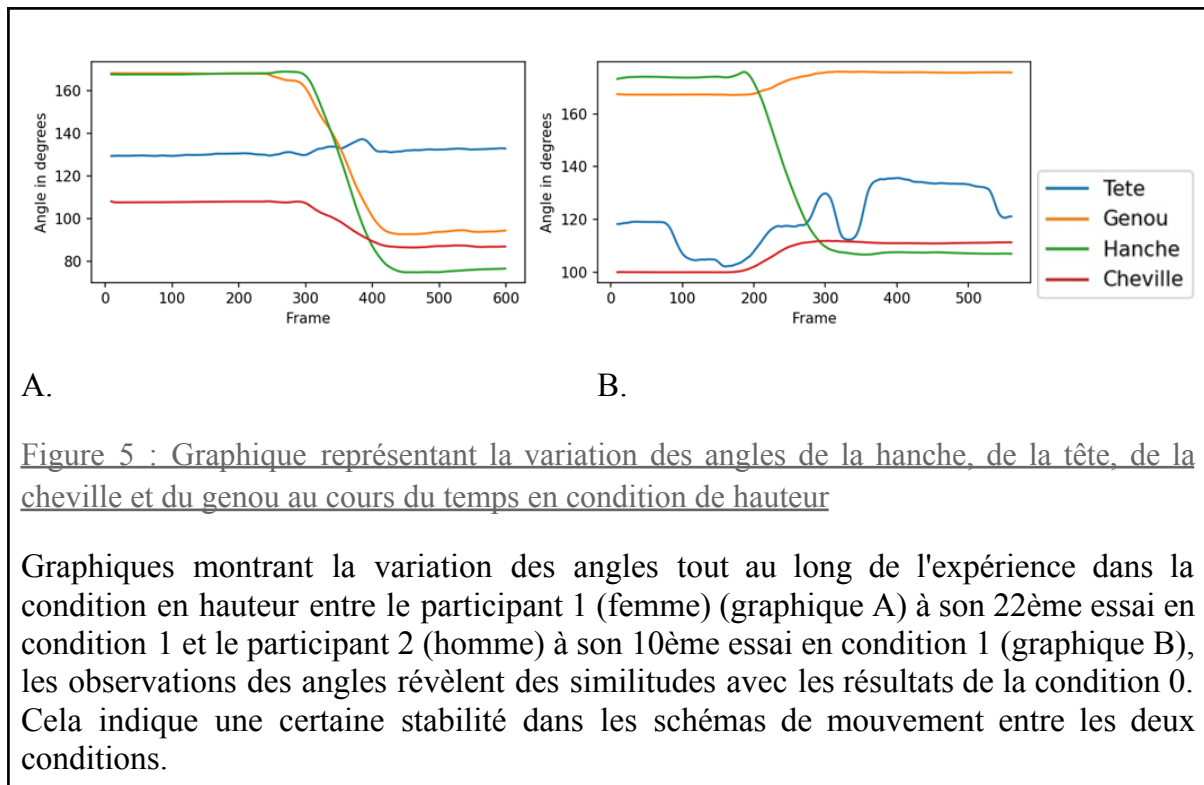
### **3.2.1.2. En condition de hauteur**

Ces motifs sont retrouvés en condition de hauteur. En effet, le graphique ([Figure 5](#)) a été analysé et montre que pour l'angle du genou, le participant 1 (femme) présente de la même manière qu'il a été déjà abordé, une diminution significative de l'angle, passant de 175 degrés à 90 degrés. En revanche, le participant 2 (homme) maintient un angle du genou relativement stable d'environ 175 degrés.

En ce qui concerne l'angle de la hanche, les deux participants présentent des schémas similaires à ceux de la condition 0, avec des angles comparables. Chez le participant 1, l'angle de la hanche est légèrement inférieur à celui du genou vers la fin du mouvement. Chez le participant 2, il y a une diminution de l'angle de la hanche, similaire à celle observée chez le participant 1.

Pour l'angle de la tête, le participant 1 maintient une stabilité relative avec une légère augmentation à mi-mouvement, tandis que le participant 2 présente des fluctuations plus prononcées tout au long du mouvement. Cette différence entre les participants est également observée dans la condition 1, avec une plus grande variabilité de l'angle de la tête chez le participant 2 par rapport au participant 1.

En s'intéressant à l'angle de la cheville, il est possible de noter que les variations sont similaires entre les deux participants dans les deux conditions. Chez le participant 1, l'angle de la cheville diminue au milieu du mouvement pour se stabiliser vers la fin. Chez le participant 2, l'angle de la cheville augmente légèrement au milieu du mouvement avant de se stabiliser. Ces schémas de mouvement de la cheville sont comparables entre les sexes dans les deux conditions.



Ainsi, il y a été mis en évidence visuellement ces différents patterns qui sont conservés en fonction des conditions. C'est pourquoi, une matrice de corrélation a été réalisée afin de comprendre s'il y a un lien entre le fait d'être un homme ou une femme et le fait de plier les genoux ou non. Les résultats montrent alors une corrélation proche de 1 qui vaut 0,632456.

### 3.2.2. Variation de l'angle du genou au cours du mouvement

L'analyse en détail de la variation de l'angle du genou au cours du mouvement a été étudiée et les résultats mettent en évidence une différence significative pour l'angle du genou. Les individus ont globalement modifié leur posture lorsqu'ils ont réalisé le mouvement sur la table : la variation de l'angle du genou est plus importante dans cette condition qu'au sol ([Figure 7](#)). En étudiant cette différence, il a été mis en évidence que la moyenne de l'angle maximal du genou est similaire entre les deux conditions (172.906 degrés au sol, 172.406 degrés en hauteur), mais que la moyenne des angles minimums est plus basse au niveau de la condition en hauteur (152.503 degrés au sol et 144.694 degrés en hauteur). De ce fait, l'amplitude de l'angle du genou est provoquée par un angle plus petit en condition de hauteur.



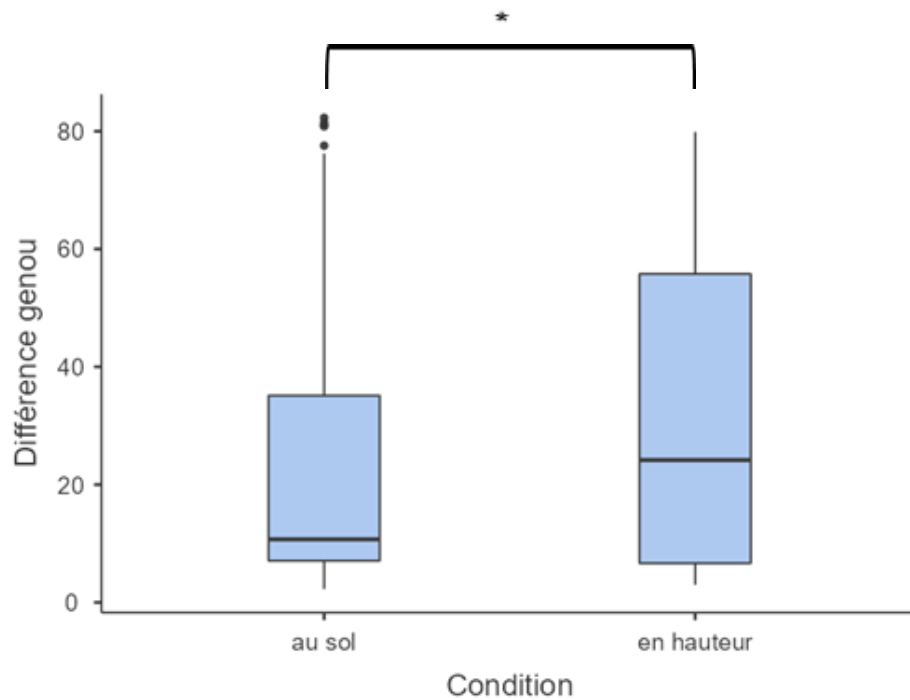


Figure 7. Diagramme de la différence des angles du genou en fonction des conditions

Il existe une différence significative, avec un seuil de risque de 5%, indiquant que les deux distributions sont différentes (\*  $p < 0.05$ ). Cela met alors en évidence une variation de l'angle du genou plus élevée dans le cas où le participant se positionne en hauteur pour la réalisation du mouvement.

### 3.2.3. Variation de l'angle de la hanche

De la même manière que précédemment, il a été étudié plus en détail les variations d'angulation de la hanche en fonction des conditions d'études. Les tests ont ainsi mis en évidence une différence significative entre ces conditions puisqu'en hauteur, les participants ont globalement une tendance à avoir une différence angulaire plus importante, donc une amplitude de mouvement plus grande (Figure 8). Plus précisément, la moyenne des angles maximums pour chaque condition (169.787 degrés au sol, 170.841 degrés en hauteur) est similaire alors que la moyenne des angles minimums (109.334 degrés au sol, 102.754 degrés en hauteur) montre une différence plus importante. Il est possible de conclure que l'angle de la hanche est moins significatif en hauteur.

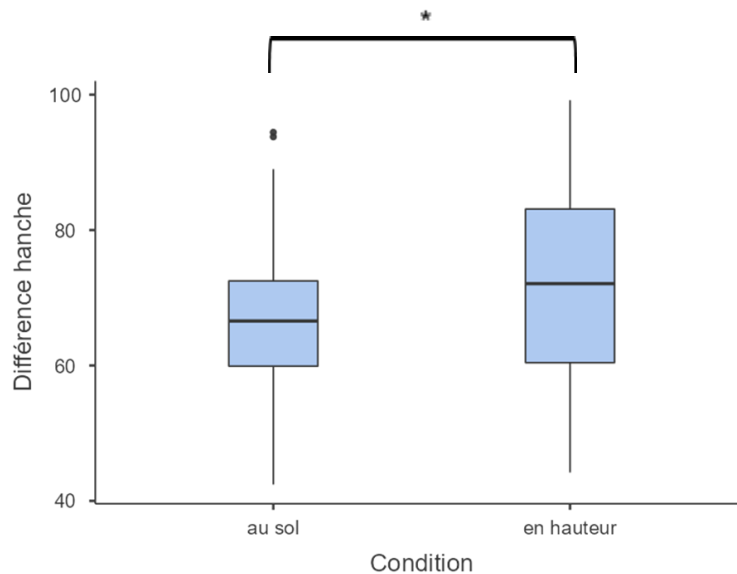


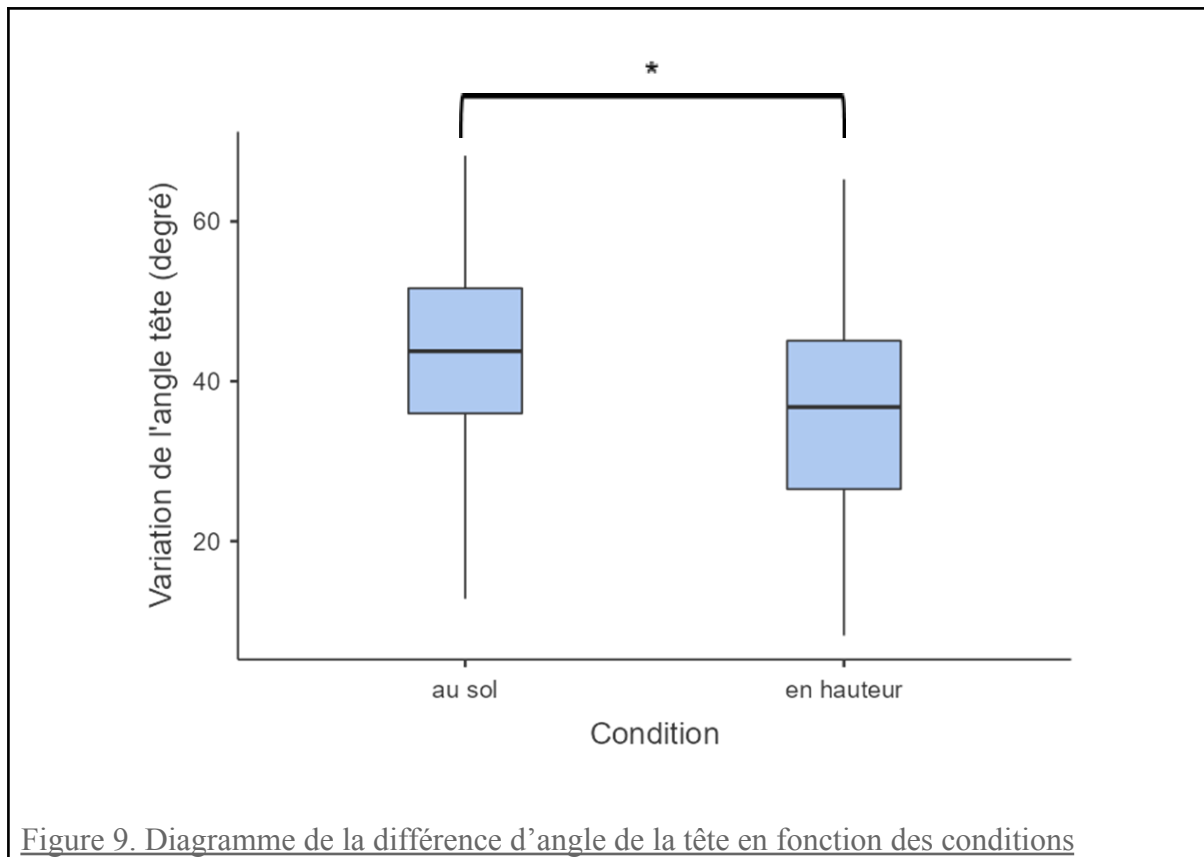
Figure 8. Diagramme de la différence d'angle de la tête en fonction des conditions

Il y a une différence significative au seuil de risque 5% que les deux distributions soient différentes (\*  $p < 0.05$ ). Cela met alors en évidence une variation de l'angle de la hanche est plus importante dans le cas où le participant se positionne en hauteur pour la réalisation du mouvement.

### 3.2.4. Variation de l'angle de la tête par rapport à la verticale

Suite à l'étude de la variation de l'angle de la tête par rapport à la verticale, les tests mettent en lumière une différence significative globale entre les deux conditions. En effet, la différence d'angle entre la tête et la verticale est plus importante pour la condition au sol (Figure 9).

En analysant la moyenne des angles maximums et minimums pour tous les participants dans chaque condition, il est possible de noter qu'en condition de menace posturale, le maximum est plus bas (132.87 degrés en hauteur pour 140.66 degrés au sol) et le minimum, plus élevé (60.67 degrés en hauteur et 52.23 degrés au sol). Cela met en évidence une amplitude moins importante que ce soit en ce qui concerne le redressement de la tête ou son inclinaison vers le sol.



Il y a une différence significative au seuil de risque 5% que les deux distributions soit différente (\*  $p < 0.05$ ) Cela met alors en évidence une variation de l'angle de la tête est plus bas dans le cas où le participant se positionne en hauteur pour la réalisation du mouvement.

### 3.3. Questionnaire final

Le questionnaire réalisé à la fin de l'expérimentation a mis en évidence une différence pour deux sujets qui sont passés de l'état neutre pour le mouvement au sol à un état d'appréhension face au vide. Cependant, la population montre globalement une indifférence face à la présence du vide dans la réalisation du mouvement en hauteur.

## 4. Discussion

L'étude met en évidence la manière dont le mouvement de pointage du corps entier s'organise lorsque l'individu se penche dans le vide. Pour répondre à cela, des individus jeunes, sans troubles de santé apparents, ont réalisé le mouvement. Différents points de vue de l'organisation du mouvement ont été étudiés : l'aspect temporel avec l'étude de la vitesse du mouvement et de l'enchaînement des angles de compensation, mais également au niveau spatial, avec l'analyse des angles de la posture sous une contrainte de menace posturale.

#### 4.1. Organisation temporelle

Dans un premier temps, l'analyse des résultats de l'expérimentation a mis en évidence une stratégie temporelle commune en fonction des participants. En effet, il est possible de trouver un pattern commun : dans le cas où les individus se trouvent en hauteur, ils auront globalement tous un mouvement plus rapide. Ceci peut sembler contre-intuitif, mais l'hypothèse de cette adaptation peut-être qu'elle est choisie afin d'éviter d'être confrontée plus longtemps à la vision du vide, qui peut causer de l'anxiété chez certaines personnes (Adolph et al., 2014). De plus, il est possible de se baser sur un point biomécanique et d'appréhender ce résultat en rappelant le principe du corps humain tel un pendule inversé. En effet, dans ce cas, la vitesse du mouvement de pointage serait plus importante car l'accélération permet de diminuer le centre de masse et donc d'avoir une certaine stabilité (Hof et al., 2005). Ainsi, le bras de levier serait moins important au niveau de la cheville et permettrait de gagner de l'équilibre en minimisant les coûts énergétiques.

L'étude du nombre d'intersections entre la courbe des angles du genou et celle des angles de la hanche montre qu'il n'y a pas de différence significative entre la condition au sol et celle en hauteur, ce qui suggère que la succession et l'enchaînement angulaires sont similaires que ce soit en présence du vide ou pas. Cependant, au niveau de la rapidité de cet enchaînement, le ratio de la première intersection entre les deux courbes sur la durée totale du mouvement a été évalué, et une différence significative est détectée entre les deux conditions. Cette différence au niveau du ratio signifie que le moment de rencontre entre l'angle de la hanche et celui du genou varie selon la condition. Lors de l'atteinte de la cible en hauteur, en fonction de la position initiale de l'individu, l'angle le plus important (soit le genou, soit la hanche) se fléchit davantage par rapport à l'autre articulation (genou ou hanche) de manière plus tardive. Ce résultat peut être expliqué par le besoin d'un temps additionnel en situation de hauteur afin de planifier le mouvement. Ceci peut paraître contradictoire par rapport aux analyses concernant le pic de vitesse. Toutefois, il est possible d'émettre l'hypothèse que le mouvement de l'index ne représente pas la vitesse du mouvement du corps, mais seulement du positionnement des mains. Ainsi, les sujets auraient tendance à davantage positionner les mains plus rapidement au niveau de la cible en avant pour donner un effet sécurisant face au vide alors que le mouvement de flexion est plus tardif.

#### 4.2. Organisation spatiale du mouvement

De plus, l'organisation spatiale du mouvement est étudiée par l'analyse de la variation de l'angle du genou. Les résultats mettent en évidence des similitudes visibles au sein des individus. En effet, cet angle est moins important lors de la condition en hauteur par rapport à la condition au sol, ce qui signifie que les sujets ont davantage réalisé une flexion du genou dans la condition de menace posturale. Cela est en cohérence avec la littérature scientifique actuelle qui précise l'importance du genou dans la stabilité

du mouvement et en particulier pour limiter l'avancement du centre de masse (Williams et al., 2001).

Par rapport à l'étude de la variation de l'angle de la hanche, cela met en évidence son impact important dans la stabilisation de la posture comme certains articles l'ont déjà mis en évidence (Pérennou et al., 2012). Les recherches réalisées ont montré qu'en condition de menace posturale, l'angle de la hanche est moins important, ce qui signifie que les sujets ont tendance à se courber en avant. Étant donné qu'il a été mis en évidence en parallèle une diminution de l'angle du genou, il est possible de conclure que le sujet, en hauteur, s'adapte en reculant le bassin, ce qui permet de reculer le centre de masse du corps.

Cependant, les angles du bas du corps ne sont pas les seuls marqueurs intéressants dans la conservation de l'équilibre. La tête joue également un rôle important (Lion, 2010), par le biais de l'appareil vestibulaire. Ce que confirme la présente étude puisque les résultats montrent au niveau du mouvement de la tête une différence significative en fonction des conditions. Les individus ont tendance à moins bouger la tête en cas de présence du vide, ils maintiennent leur tête à niveau neutre, sans la lever davantage vers le ciel ni la baisser vers le sol. En effet, comme les études précédentes l'ont montré, ceci permet une stabilisation par l'afférence visuelle : en gardant la tête davantage parallèle au sol lorsque l'individu se situe en hauteur, ils bénéficient d'un point de fixation qui les aide à réduire leur déstabilisation causée par la présence du vide. Dans cette situation, on peut émettre l'hypothèse qu'il existe à la fois une influence de la peur qui modifie le comportement du sujet en l'incitant à éviter de regarder le vide, ainsi qu'une composante de planification et d'afférence visuelle qui révèle une stratégie de stabilisation du mouvement due à l'appréhension de la présence du vide.

En prenant en considération les différents éléments qui ont été abordés au cours de ces recherches, il est possible d'imaginer l'adaptation des individus dans le cadre d'un mouvement d'atteinte de tout le corps, en hauteur, comme une synergie entre une accélération du geste pour diminuer le centre de masse ou rassurer la personne en positionnant rapidement les mains en direction du sol, et un mouvement de flexion du buste et du genou afin de reculer le centre de masse loin de la menace posturale. Ceci tout en gardant la tête parallèle au sol afin d'éviter un potentiel déséquilibre. Cependant, le questionnaire réalisé ne met pas en évidence une peur chez les sujets lors de la réalisation du mouvement en hauteur. Ainsi, la modification du mouvement n'est pas consciente ou volontaire, appuyant ainsi sur l'idée de réflexe comme mentionné précédemment.

Néanmoins, l'étude des résultats met en évidence une population de volontaires hétérogènes dans la réalisation du mouvement. Tout d'abord, leur posture de départ n'est pas toujours la même : certains participants commencent le mouvement avec un angle du genou supérieur à l'angle de la hanche, alors que pour d'autres il s'agit du cas inverse. En effet, la majorité des participants commencent le mouvement avec un angle de la hanche supérieur à l'angle du genou, mais tous les participants terminent le mouvement avec un

angle du genou qui est supérieur. Malgré cette différence inter-individuelle, il faut noter qu'il y a une similarité intra-individuelle entre les deux conditions; la présence ou pas de la hauteur n'a pas d'influence sur l'enchaînement des angles chez un même individu, bien que cet enchaînement varie d'un individu à l'autre. De plus, lors de cette expérience, il a été observé différentes stratégies en fonction des individus. Malgré la littérature qui donnait des informations par les anciennes publications de la position optimale de la cible par rapport à l'individu pour ne pas le mettre en danger (Casteran et al., 2013, Berret et al. 2009), certains participants ont choisi de ne pas plier les genoux, mais de plier le dos. En effet, les résultats de cette étude mettent en évidence des variations significatives dans les stratégies de mouvement entre les participants. Par exemple, le participant 1 semble privilégier la flexion du genou et maintenir une stabilité relative de la tête et de la cheville, tandis que le participant 2 adopte une approche plus stable avec une flexion minimale du genou et des fluctuations modérées de la tête et de la cheville. Cela met alors en évidence qu'une différence entre les sexes peut être observée. Ces différences entre les participants soulignent l'impact des facteurs individuels dans l'exécution des mouvements (Zaback et al., 2015), mais peuvent également être dues aux contraintes biomécaniques de la hanche liées au sexe, qui auraient pour conséquence une modification dans le choix de stratégie optimale. De plus, cette différence inter-individuelle a été retrouvée au cours des différentes mesures de cette étude. Les distributions entre de l'angle du genou, de la hanche, de la tête et du pic de vitesse n'étaient pas toujours similaires entre les individus. Cela pourrait être dû au faible nombre de volontaires qui ont participé à l'étude, et peut être des critères de non-inclusion pas assez nombreux.

En somme, les résultats de cette étude mettent en évidence des similitudes et des différences dans les schémas de mouvement entre les individus en particulier entre les hommes et les femmes dans les conditions au sol et en hauteur. Ces observations soulignent l'importance de prendre en compte les différences entre les sexes dans l'analyse du mouvement et suggèrent que les stratégies de mouvement peuvent varier en fonction du sexe lors de cette tâche spécifique. De plus, les résultats de cette étude mettent en avant l'importance des angles articulaires dans l'analyse du mouvement et mettent en évidence des différences individuelles dans les stratégies adoptées lors de la tâche de pointage corporel. Ils contribuent à une meilleure compréhension de l'adaptation des individus jeunes et sains à la présence de vide et fournissent des informations pertinentes sur les caractéristiques du mouvement telles que la flexion des articulations et la stabilité de la tête et de la cheville.

Pour conclure, cette expérimentation a montré que la seule présence du vide (étant donné que le mouvement réalisé est identique entre les deux conditions) impacte la réalisation d'un mouvement d'atteinte du corps entier en augmentant la sécurisation du mouvement. Cela se traduit par une flexion du tronc plus tardive en condition de hauteur signifiant une planification du mouvement plus importante. Cette adaptation est visible par une flexion de la hanche et du genou plus importante, ainsi qu'une position de la tête plus stable. Il est alors possible de faire un parallèle avec le questionnaire qui met en

évidence une indifférence des participants face au vide malgré ces changements. Ainsi, le changement de posture au cours mouvement en hauteur serait inconscient. L'étude pourrait être complétée en exploitant davantage le questionnaire sur la peur ou d'autres paramètres tels que la variation de l'angle de la cheville (Runge et al., 1999).

## **Partie III - Conclusion du projet**

Pour conclure ce rapport, nous pouvons affirmer que la réalisation de ce projet a été une expérience enrichissante qui nous a permis de découvrir l'univers de la recherche scientifique et d'avoir une première approche professionnalisante dans le champ disciplinaire des neurosciences.

D'un point de vue technique, le premier semestre nous a permis de découvrir la difficulté à réaliser une bibliographie : le temps que cela prend, la rigueur demandée et l'analyse des articles pour sélectionner les plus pertinents, et provenant d'une source fiable et reconnue. Cependant, cette période de travail a été fructueuse en découvertes. Nous pourrions désormais avancer des connaissances et des compétences à la fois dans le domaine de neuromotricité, mais également dans la méthodologie de recherche.

Le second semestre a été une expérience totalement différente, que nous avons appréhendé différemment. Nous devions, à partir des connaissances de la première partie de l'année, créer un protocole expérimental pertinent et réalisable en fonction des contraintes données. À partir de cela, l'expérimentation a pu être mise en œuvre en quasi-autonomie, suivant les précieux conseils de notre tuteur qui a supervisé dans un premier temps les expériences. De plus, cela nous a permis de découvrir la technologie de capture du mouvement 3D ainsi que le déroulé d'une expérimentation de ce type.

Par la suite, nous avons réalisé l'extraction des données. Ce fut éprouvant, nous n'avions pas conscience de la quantité de données qu'il y a à analyser lors de travaux expérimentaux en taille réelle. C'est à ce moment-là que la formation de Master Sciences Cognitives que nous suivons a été d'une grande aide. Afin d'optimiser le temps, nous avons réalisé l'extraction des données des différents participants grâce à un certain nombre de codes python que nous avons créé. Ayant suivi en licence un cursus axé sur la biologie ou la psychologie, l'apport de la programmation de cette année a été un atout non négligeable. Néanmoins, des lacunes restent encore présentes. Nous avons d'énormes difficultés à réaliser les tests statistiques, étant confrontés à des tests que nous n'avons pas exploités cette année. Nous avons dû alors apprendre comment réaliser le test statistique, pourquoi, comment, ainsi que le fonctionnement du logiciel Jamovi, la plateforme conseillée par notre tuteur. Cela a été extrêmement chronophage pour nous et nous avons dû recommencer 3 fois tous les calculs à cause de soucis de compréhension. De plus, la réalisation de filtrage par bande passe bas ou passe haute en pratique, comme par la programmation python par exemple, aurait été un point qui aurait pu nous aider grandement dans la réalisation de ce projet. D'un point de vue organisationnel, nous avons apprécié la liberté donnée par le tuteur, ce qui a permis d'apprendre en autonomie, mais cela a également suscité notre curiosité sans nous limiter. Nous avons réalisé ce projet par nous-même, grâce à son aide. Cette méthode a été enrichissante car elle nous a



permis d'acquérir de l'autonomie, mais aussi de créer nos propres méthodologies et d'affermir notre rigueur personnelle.

Pour conclure ce rapport, nous pouvons dire que nous avons apprécié réaliser ce projet enrichissant. Il nous a permis de nous plonger dans un sujet passionnant qui nous a fait découvrir le métier de chercheur et appréhender la méthodologie et l'analyse utilisées lors de travaux de recherches.

# Annexe

## Annexe 1 : Formulaire de consentement éclairé des participants

Formulaire de consentement éclairé qui a été rempli par chaque participant avant leur passage.

Formulaire de consentement éclairé

## Formulaire de consentement

*Se projeter dans le vide ou se projeter au sol, quelle différence motrice ?*

### Présentation du chercheur et du contexte

Dans le cadre de nos études en première année de master en Sciences cognitives à l'IDMC de Nancy, nous (BEKADI Douaa, SEMAAN Adella, SZABELSKI Marie) réalisons un projet tutoré, sous la direction de Matthieu Casteran, au sein du département de l'UFR SciFA Metz de l'Université de Lorraine.

Ce document vous est transmis en amont du projet de recherche auquel vous êtes appelé à participer afin de vous présenter des explications sur l'objectif de ce projet, ses procédures, avantages, risques et inconvénients. Veuillez prendre le temps de le lire et de comprendre les renseignements qui suivent. N'hésitez pas à poser toutes les questions qui vous semblent utiles à la personne qui vous présente ce document.

### Nature et objectifs de l'étude

L'objectif de cette recherche est d'analyser le mouvement de pointage corporel entier d'un individu dans différentes conditions (les pieds au sol, ou les pieds posés sur une table). Pour ce faire, des capteurs de mouvement seront placés sur certaines parties du corps, telles que les membres supérieurs, la hanche, la jambe et le pied, afin de mesurer les changements de position et d'orientation pendant le mouvement. Les enregistrements de mouvement seront obtenus à l'aide d'un système de capture de mouvement 3D, qui permettra d'obtenir une représentation précise et détaillée de la trajectoire, de la vitesse et de la synchronisation des différentes parties du corps. L'analyse de ces données permettra d'examiner comment les individus jeunes et sains coordonnent les mouvements de différentes parties du corps pour atteindre une cible dans des conditions variées, et comment cette coordination est affectée par la présence du vide. Cette recherche pourra ainsi contribuer à mieux comprendre les mécanismes sous-jacents de la coordination perceptivo-motrice dans des tâches de pointage corporel entier, ainsi que les effets de l'environnement sur la performance motrice.

### Déroulement de la participation

La participation à l'expérimentation aura une durée entre 20 et 30 minutes. La présence de marqueurs sur le corps nécessite une tenue adaptée pour laisser des zones précises sans vêtements.

### Avantages, risques ou inconvénients possibles

Nous nous engageons à dérouler l'étude selon des dispositions éthiques et déontologiques, à protéger l'intégrité physique, sociale et psychologique des personnes tout au long de l'expérimentation. La réalisation d'un mouvement quel qu'il soit entraîne forcément un risque de chute, mais les conditions choisies limitent ce risque au maximum.

### Droit de retrait

- Vous avez le droit de refuser de participer à ce projet ou de mettre fin en tout temps à sa participation sans préjudice.

**Formulaire de consentement éclairé**

- Vous êtes dans le droit de refuser de répondre à certaines questions sans conséquence négative pour vous et sans avoir à vous justifier.

En cas de retraite de votre part, il vous sera vérifié auprès de vous si vous acceptez que les données soient conservées pour l'étude ou si vous préférez la destruction de données.

**Confidentialité et gestion des données**

Les données personnelles de tous types recueillis lors de cette étude seront anonymes et utilisées uniquement dans le cadre de ce projet de recherche. Cela inclut les questionnaires, les enregistrements, les exploitations des données et les formulaires de consentement.

**- A compléter par le participant -**

Je soussigné(e) (NOM - Prénom) .....

- déclare accepter librement et de façon éclairée à participer à la recherche précédemment mentionnée ;
- consens volontairement à participer à ce projet d'étude ;
- donne mon accord pour que mes données puissent être exploité à des fins d'analyse et de recherche ;
- je reconnais avoir pris connaissance du formulaire ;
- je déclare que je comprends le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients du projet de recherche ;
- je reconnais avoir obtenu les réponses à mes questions de manière claire et précise ;
- déclare être satisfait(e) des explications, précisions et réponses que le chercheur m'a fournies, le cas échéant, quant à ma participation à ce projet.

Mon adresse mail est la suivante :

Fait à :

Date :

Signature participant(e) :	Signature de l'investigateur principal :

Annexe 2 : Questionnaire post-participation

## Questionnaire

*Ce questionnaire est réalisé dans le contexte d'un projet de Master 1 Sciences cognitives de l'Université de Lorraine par les étudiantes BEKADI Douaa, SEMAAN Adella et SZABELSKI Marie. Celui-ci a pour but de récupérer des informations complémentaires concernant la peur du vide suite à votre participation à notre expérimentation. Comme précisé dans le consentement que vous avez signé, ces données seront utilisées uniquement dans le cadre de ce projet de recherche.*

1) Quel est votre numéro de passage ?

.....

2) Quel est votre poids ? (kg)

.....

3) Quelle est votre taille ? (cm)

.....

4) Quel est votre sexe ?

Homme

Femme

5) Quel est votre âge ? (années)

.....

6) Comment vous sentez-vous en présence du vide et de la hauteur ?

J'ai peur

Je me sens mal à l'aise

Neutre

Je me sens plutôt confiant(e)

Je me sens très confiant(e)

*Se projeter dans le vide - se projeter au sol : quelles différences motrices ?*

7) Avez-vous l'habitude de vous confronter au vide ? (parachute, manèges, ...)

- Oui
- Parfois
- Non

8) À quelle fréquence diriez-vous que vous avez le vertige ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Très souvent

**Par rapport à l'expérience**

1) Pour la condition au sol, comment avez-vous perçu l'expérience?

- J'ai eu peur
- J'ai appréhendé le mouvement
- Je suis resté(e) neutre
- J'étais confiant(e)

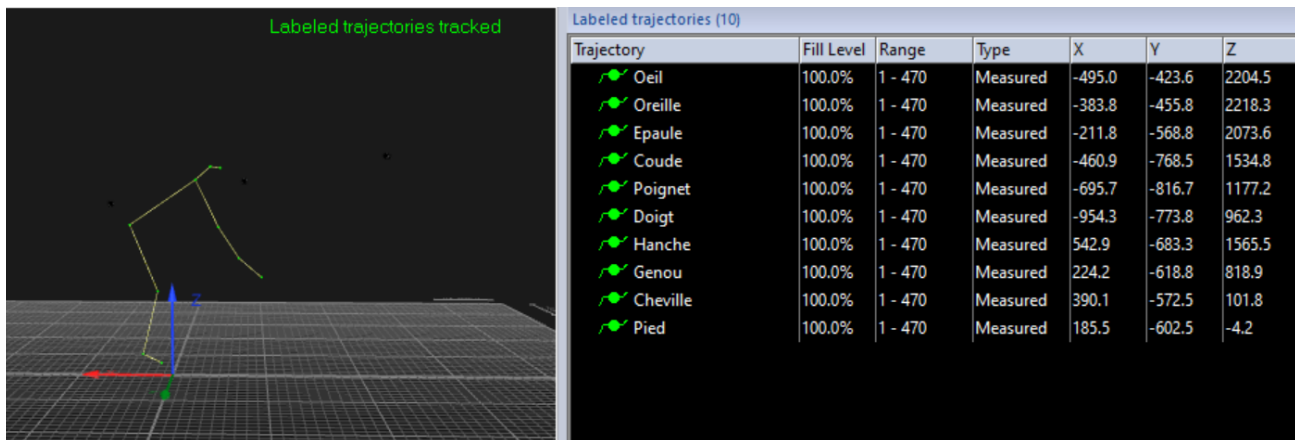
2) Pour la condition en hauteur, comment avez-vous perçu l'expérience?

- J'ai eu peur
- J'ai appréhendé le mouvement
- Je suis resté(e) neutre
- J'étais confiant(e)

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire.

Annexe 3 : Capture d'écran d'un passage du logiciel Qualisys

Capture d'écran du logiciel Qualisys présentant le modèle qui a été réalisé pour ce rapport avec les différents points associés.



Annexe 4 : Programmation python du traitement des données

Programme python réalisé sur Visual Studio Code qui a permis l'extraction des données ainsi que leur traitement à partir des informations récupérées sous format tsv depuis le logiciel Qualisys. Le format tsv a été converti manuellement en excel, et par programmation de excel en csv. Le code Python créé peut être communiqué sous demande.

## **Bibliographie**

Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G., & Peysar, G. W. (2002). Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Experimental Brain Research*, 143(2), 160-170. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0974-8>

Adolph, K. E., Kretch, K. S., & LoBue, V. (2014). Fear of heights in infants? *Current Directions in Psychological Science*, 23(1), 60–66. <https://doi.org/10.1177/0963721413498895>

Berret, B., Bonnetblanc, F., Papaxanthis, C., & Pozzo, T. (2009). Modular Control of Pointing beyond Arm's Length. *Journal of Neuroscience*, 29(1), 191-205. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3426-08.2009>

Casteran, M., Manckoundia, P., Pozzo, T., & Thomas, E. (2013). Alterations with Movement Duration in the Kinematics of a Whole Body Pointing Movement. *PLOS ONE*, 8(1), e52477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052477>

Cleworth, T. W., Chua, R., Inglis, J. T., & Carpenter, M. G. (2016). Influence of virtual height exposure on postural reactions to support surface translations. *Gait & Posture*, 47, 96- 102. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.006>

Cleworth, T. W., & Carpenter, M. G. (2016). Postural threat influences conscious perception of postural sway. *Neuroscience Letters*, 620, 127-131. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.03.032>

Davis, J. R., Campbell, A. D., Adkin, A. L., & Carpenter, M. G. (2009). The relationship between fear of falling and human postural control. *Gait & Posture*, 29(2), 275-279. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.09.006>

Hof, A. L., Gazendam, M. G. J., & Sinke, W. E. (2005). The condition for dynamic stability. *Journal of Biomechanics*, 38(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.03.025>

Lion, A. (2010). Modifications des stratégies sensori-motrices de l'équilibration en fonction du type d'exercice et de perturbations de l'homéostasie [Thèse de doctorat]. UNIVERSITÉ DE LORRAINE.

Massion, J. (1997) Cerveau et motricité, fonction sensori-motrice. Presses Universitaires de France.

Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51-66.

Phanthanourak, A. L., Cleworth, T. W., Adkin, A. L., Carpenter, M. G., & Tokuno, C. D. (2016). The threat of a support surface translation affects anticipatory postural control. *Gait & Posture*, 50, 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.08.031>

Pozzo, T., Stapley, P. J., & Papaxanthis, C. (2002). Coordination between equilibrium and hand trajectories during whole body pointing movements. *Experimental Brain Research*, 144(3), 343-350. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1052-6>

Pérennou, D. (2012). Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 28(3), 120-132. <https://doi.org/10.1007/s11659-012-0316-1>

Runge, C. F., Shupert, C. L., Horak, F. B., & Zajac, F. E. (1999). Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. *Gait & Posture*, 10(2), 161-170. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(99\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(99)00032-6)

Williams, G. N., Chmielewski, T., Rudolph, K. S., Buchanan, T. S., & Snyder-Mackler, L. (2001). Dynamic knee stability : Current theory and implications for clinicians and scientists. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 31(10), 546-566. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.10.546>



Zaback, M., Carpenter, M. G., & Adkin, A. L. (2016). Threat-induced changes in attention during tests of static and anticipatory postural control. *Gait & Posture*, 45, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.033>

Zaback, M., Cleworth, T. W., Carpenter, M. G., & Adkin, A. L. (2015). Personality traits and individual differences predict threat-induced changes in postural control. *Human Movement Science*, 40, 393-409. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.01.015>