

**Haute Ecole Léonard de Vinci - Parnasse-ISEI**

**Site Woluwé - Avenue E. Mounier 84 - 1200 BRUXELLES**

**Département de KINESITHERAPIE**

**Analyse et description des paramètres permettant de différencier un comportement d'équilibre physiologique d'un comportement aphysiologique au moyen de la plateforme de posturographie dynamique Multitest® et de son logiciel PosturoPro®.**

Mémoire présenté par :

**Pablo LÓPEZ MARDOMINGO**

pour l'obtention du diplôme de master(e) en  
kinésithérapie

Promoteur: Monsieur Michel DEBUE

Année académique : 2016/2017



## ***Remerciements***

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la rédaction de ce travail de fin d'études pour l'obtention du Master en kinésithérapie.

Ma famille, mes proches et mes amis pour leur aide et soutien.

Mon promoteur Monsieur Michel Debue pour ses conseils.

Les participants de l'expérience, sans lesquels celle-ci n'aurait pas pu avoir lieu.

L'équipe du secrétariat du Centre d'Audiophonologie de Saint-Luc pour leur patience et disponibilité auprès des étudiants.

« J'atteste que ce travail est personnel, cite en référence toutes les sources utilisées et ne comporte pas de plagiat ».



## Table des matières

1	Stratégie de recherche bibliographique .....	viii
2	Introduction .....	1
3	Méthodes .....	3
3.1	Critères de sélection des sujets.....	3
3.2	Échantillon .....	4
3.3	Lieu et date de l'expérimentation.....	5
3.4	Protocole expérimental.....	5
3.4.1	Conditions pour accéder à l'expérience. ....	5
3.4.2	Description des bilans. ....	5
3.4.3	Description des 6 séquences standards d'un bilan .....	8
3.4.4	Matériel .....	9
3.5	Méthodes statistiques .....	17
3.5.1	Introduction .....	17
3.5.2	Préparation des données .....	17
3.5.3	Analyses statistiques .....	18
3.6	Présentation des résultats obtenus avec le logiciel PosturoPro® .....	21
3.6.1	Considérations générales.....	21
3.6.2	L'indice d'Instabilité Postural .....	21
3.6.3	La vitesse du point critique .....	23
3.6.4	Le pourcentage des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur .....	24
3.6.5	Le pourcentage des points d'Hausdorff dans le plan médio-latéral .....	25
3.7	Résultats de l'analyse statistique.....	26
3.7.1	Tests de normalité .....	26
3.7.2	Comparaison de moyennes.....	27
3.7.3	Analyse de la variance à mesures répétées.....	28
4	Discussion .....	30
5	Conclusion.....	36
6	Bibliographie.....	38
7	Annexes.....	41
	Annexe A. Rappels théoriques .....	41
	Annexe B. Questionnaire pré-expérimentaux .....	43

Annexe C. Formulaire de consentement .....	45
Annexe D. Données corrigées .....	47
Annexe E. Résultats statistiques.....	48
Annexe F. Dossier éthique .....	68

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
ANOVA	ANalysis Of VAriance
AVD	Acuité Visuelle Dynamique
CdP	Centre de Pression
CNRS	Centre National de Recherche Scientifique
DHI	Dizziness Handicap Inventory
EHTEV	Échelle du Handicap liée aux Troubles de l'Équilibre et aux Vertiges
ICP	Indice de Contrôle Postural
IIP	Indice d'Instabilité Posturale
IP	Indice de Puissance
MeSH	Medical Subjects Heading
PDC	Posturographie Dynamique Computérisée
PPH	Pourcentage des Points d'Hausdorff
SNC	Système Nerveux Central
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
VPC	Vitesse au Point Critique

# 1 Stratégie de recherche bibliographique

Pour rédiger ce mémoire, une lecture de la littérature était indispensable. Il est essentiel de pouvoir comprendre le comportement aphysiologique d'un sujet sain. Il est aussi nécessaire de connaître le fonctionnement de la plateforme et de son logiciel.

La première étape a pour but de repérer des mots clés en relation au sujet de l'étude et de dresser une liste : dynamic posturography, plateforme de force, aphysiologic, malingers, vestibular, disorder, rehabilitation, dizziness et balance.

La deuxième étape permet de vérifier dans le thesaurus (MeSH) si les mots clés choisis s'y trouvaient et, si nécessaire, de les substituer par d'autres mots équivalents.

Lors de la troisième étape un choix est fait sur quelles seront les bases de données bibliographiques à consulter pour trouver la bibliographie nécessaire. La recherche d'articles scientifiques portant sur la description du pattern aphysiologique et sur la définition de la posturographie dynamique computerisée a été faite sur PubMed.

La quatrième étape a pour objectif de faire une recherche dans la base à l'aide de mots clefs en utilisant pour cela la fonction de « recherche avancée ». Cela afin de décider si la recherche à faire des mots clés doit se faire dans la totalité de l'article ou seulement dans certaines parties, comme par exemple l'abstract, le titre ou le texte.

L'outil de recherche de PubMed inclus aussi une fonctionnalité très utile qui propose des publications similaires à une publication choisie.

Après plusieurs essais, il s'est avéré que la recherche la plus adéquate était la suivante : «aphysiologic» AND «dynamic posturography» dans le titre de l'article ou dans l'abstract. Cette recherche a produit un résultat de 11 publications.

Une fois les publications récupérées il a été nécessaire de passer en revue leurs références bibliographiques afin de vérifier que certaines d'entre elles étaient aussi d'intérêt.

La littérature concernant le fonctionnement du Multitest® et du logiciel PosturoPro® a été retrouvée sur le site web de la société Framiral® (fournisseur de la plateforme). C'est dans l'onglet « Communication » du menu principal qu'on retrouve le sous-onglet « Publications ». Sur [www.framiral.fr](http://www.framiral.fr) on retrouve des publications, des mémoires et des articles scientifiques qui m'ont aidé à mieux comprendre le fonctionnement de cet outil

et de son logiciel. C'est ainsi qu'un total de 14 publications a été recueilli sur ce site internet.

## 2 Introduction

C'est à la fin des années 80 que la kinésithérapie vestibulaire prend une place plus importante dans la rééducation des vertiges et des troubles de l'équilibre. Cet essor est en partie dû à l'apparition de la PDC (Posturographie Dynamique Computerisée) au début des années 90. La première plateforme de PDC a été commercialisée par la société NEUROCOM® aux USA. Cette méthode utilise un plateau de force enregistrant le déplacement du centre de gravité d'un sujet en station debout (Morgan S, Beck W et al, 2002). Elle permet de quantifier et mesurer le poids des entrées sensorielles responsables de la fonction d'équilibration (Lisbonis JM et Zeitoun A, 2011).

Le vertige et les troubles de l'équilibre requièrent une anamnèse méticuleuse du patient en raison au degré d'handicap qu'ils provoquent. Après de nombreux examens vestibulométriques, cardiaques, neurologiques, orthopédiques et ophtalmiques ne montrant pas d'affection susceptible de causer ces symptômes, on fait appel à un expert externe, le sapiteur (spécialiste dans le domaine). Cet expert doit alors donner un avis et déterminer objectivement si le patient est réellement malade. Dans le cadre de cet examen, la personne est donc amenée à faire un bilan sur plateforme de PDC dont les résultats témoignent une grande instabilité qui ne correspond pas à la clinique. Par des circonstances individuelles qui leurs appartiennent, ces sujets simulent et exagèrent un déséquilibre avec le but d'obtenir un bénéfice secondaire à un état pathologique. On parle alors de « malingers » ou sujets aphysiologiques (Gianoli G et al, 2000).

Ce comportement dit aphysiologique à déjà été observé et décrit sur la plateforme Equitest®. Il existe dans la littérature des études qui nous permettent de distinguer ce comportement d'un comportement normal. Le premier à avoir décrit ce pattern a été Hamid (1991), celui-ci a été popularisé par Cevette et al. (1995). Une série de critères ont été établis pour identifier ce comportement : Lorsque les scores d'équilibre sont bas dans les conditions de test les plus faciles, ainsi que lorsqu'il y a des différences significatives dans les scores du test après répétition de celui-ci. Dans l'étude de Cevette et al. (1995) ils ont décrit trois formules, chacune d'elles classe le sujet dans un pattern différent en fonction du résultat obtenu : le pattern aphysiologique (simulateur), le pattern normal, le pattern pathologique (vestibulaire). Actuellement l'étude la plus complète sur le sujet est celle de Mallinson et Longridge (2008). Elle reprend les neuf

critères les plus pertinents publiés dans la littérature. Il faut savoir que toutes ces études ont été réalisées avec la plateforme Equitest®.

Quelle est l'intérêt de ce mémoire pour le clinicien vestibulaire si le pattern d'un sujet aphysiologique a déjà été décrit précédemment ? Les études publiées sur cette thématique ont utilisé uniquement la plateforme Equitest®. Il est indispensable de pouvoir établir des nouveaux paramètres pour les cliniciens utilisant d'autres plateformes. Le Multitest® est une plateforme plus récente et se trouve parmi les appareils les plus vendus en Europe (Martin B, 2010). Il est nécessaire de pouvoir donner une preuve concrète quant à la réalisation frauduleuse de l'examen posturographique d'un sujet.

L'objectif de ce mémoire est celui d'analyser et différencier le comportement aphysiologique du comportement normal (physiologique) sur la plateforme Multitest® sur base d'un échantillon plus significatif à l'occurrence de taille n=48. Une première partie de cette étude a déjà été débutée par Dupierreux A et Gillet A en 2016 lors de la réalisation de leur travail de fin d'études. Celui-ci portait sur l'analyse de sujets sains se comportant comme des sujets aphysiologiques sur plateforme Multitest®. La suite de leur travail est d'analyser ce comportement, mais sur un groupe de sujets plus large et de pouvoir ainsi vérifier de façon plus significative les différences qu'il existe entre les deux populations.

Le protocole suivi par les volontaires de l'année passée a été repris pour la réalisation de mes expériences. Les sujets que moi j'ai analysé ont réalisé l'expérimentation exactement de la même manière que les premiers volontaires du mémoire de 2016. Après l'observation clinique de mon promoteur, une série de stratégies ont été observées chez les sujets susceptibles de simuler un déséquilibre. Le protocole reprend ces stratégies dans une série de bilans de déséquilibre volontaire. L'expérience impose ces comportements aphysiologiques chez des sujets sains afin de voir quelles seront les différences entre le comportement d'un simulateur et le comportement d'une personne « normale » (c.à.d. toute personne saine qui ne mime pas des pertes d'équilibre).

J'ai donc récupéré et comparé quatre paramètres issus du logiciel PosturoPro® : l'indice d'instabilité posturale, la vitesse au point critique, le pourcentage des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur et dans le plan médio-lat. J'analyse la variation de ces paramètres entre une situation dite physiologique et une réalisation

aphysiologique, car cela pourra orienter les thérapeutes qui soupçonnent une performance malhonnête de leur patient. L'expertise judiciaire pourra également s'appuyer sur des résultats obtenus dans cette étude.

### **3 Méthodes**

#### **3.1 Critères de sélection des sujets.**

La sélection des sujets a été faite à partir des critères d'inclusion et d'exclusion utilisés par Dupierreux A et Gillet A (2016). Le but étant d'ajouter leur échantillon au mien pour obtenir un échantillon plus large avec les mêmes caractéristiques.

##### - Critères d'inclusion

Pour participer à l'expérience, on a admis toute personne saine âgée de 18 à 30 ans, c'est-à-dire ne présentant aucun trouble susceptible de perturber l'équilibre. D'après la littérature, les personnes jeunes présentent généralement une tendance plus importante à faire partie du pattern aphysiologique (Gianoli G et al, 2000).

##### - Critères d'exclusion

En ce qui concerne les critères d'exclusion, on a exclu tout sujet présentant une affection ou des antécédents d'affection remontant à moins d'un an :

- a) De type ortho-traumatique d'un ou des membres inférieurs
- b) De type orthopédique
- c) De type rhumatismal
- d) De type neurologique
- e) De type visuelle, auditive

Pour participer à l'étude, on a également interrogé les sujets pour savoir s'ils prenaient régulièrement des médicaments et plus spécifiquement des médicaments pour traiter des états anxieux et des insomnies. Une réponse affirmative, exclut le patient de la suite de l'expérience.

Les personnes souffrant d'une atteinte nerveuse et plus spécifiquement d'épilepsie, ont été écartées de l'expérience. Il existe le risque pour elles de déclencher une crise d'épilepsie dû à la boule à facettes utilisée au cours de l'expérimentation, qui envoie un flux optocinétique perturbant la vision.

Toute personne ayant consommé de l'alcool et/ou des substances stupéfiantes dans les dernières 24h a été aussi exclue de l'expérimentation.

### **3.2 Échantillon**

L'échantillon est composé par 18 sujets du mémoire de Dupierreux A et Gillet A (2016) et 30 sujets sélectionnés par moi-même tout en respectant de façon identique le protocole de sélection utilisé par les deux étudiants. Le but est d'obtenir un échantillon de 48 sujets sains entre 18 et 30 ans. Tous les volontaires ont répondu à deux questionnaires. Le premier questionnaire reprend les critères d'exclusion cités précédemment. Le deuxième questionnaire l'EHTEV « Échelle du Handicap liée aux Troubles de l'Équilibre et aux Vertiges » est une échelle qui évalue cliniquement les sensations de vertiges ou de troubles de l'équilibre. Elle s'adresse aux personnes saines et permet d'évaluer les difficultés éprouvées au quotidien en présence d'éventuels vertiges ou déséquilibre durant les 4 dernières semaines précédant l'expérience. Cette échelle est une version française de l'échelle DHI « Dizziness Handicap Inventory » (Nyabenda A et al, 2004). Les deux questionnaires sont repris en annexe B.

Une fois les deux questionnaires répondus et validés, le sujet est amené à réaliser l'expérience sur la plate-forme. Le premier bilan classique en station debout est utilisé pour dépister les sujets avec une possible instabilité et donc de refuser leur participation à l'expérience. Ce bilan est aussi nécessaire pour analyser le comportement physiologique sur plateforme.

Dupierreux A et Gillet A ont finalement obtenu un échantillon de 18 sujets sains âgés de 18 à 30 ans. Ils ont écarté deux sujets lors des questionnaires pré expérimentaux et un troisième fut retiré après le premier bilan sur plateforme suite à des résultats indiquant un léger trouble de l'équilibre.

L'échantillon de volontaires que j'ai moi-même recruté est composé de 30 sujets sains âgés aussi de 18 à 30 ans. Lors de l'anamnèse et questionnaires pré expérimentaux, deux sujets ont été écartés (le premier par une différence de longueur des MI et une attitude scoliotique, le deuxième par consommation d'alcool dans les dernières 24 heures). Après réalisation du premier bilan aucun des volontaires n'a été exclu. J'obtiens finalement un échantillon de 48 sujets sains âgés de 18 à 30 ans.

### **3.3 Lieu et date de l'expérimentation**

Les expériences ont été réalisées dans le Centre d'Audiophonologie sis à l'école de santé publique des Cliniques Universitaires Saint-Luc à Bruxelles. (Clos Chapelle-aux-Champs, 30, 1200 Bruxelles) pendant le mois de Septembre 2016 et les mois de Janvier et Février 2017. L'expérimentation a eu lieu dans un local spécialisé dans la kinésithérapie vestibulaire avec le matériel nécessaire pour cette rééducation (Plateforme de posturographie, AVD, fauteuil rotatoire, table de kinésithérapie, etc.). Ce local est protégé de la lumière extérieure, les fenêtres sont recouvertes d'un plastique opaque. L'obscurité est nécessaire durant l'expérience pour la réalisation des séquences C et F de chaque un des 11 bilans d'équilibre.

### **3.4 Protocole expérimental.**

#### **3.4.1 Conditions pour accéder à l'expérience.**

Les participants à cette expérience ont donné son accord de façon volontaire et ont eu le droit de refuser toute proposition de participation. Ils ont eu le droit de se retirer de l'expérimentation à tout moment sans préciser la raison, même après signature du formulaire de consentement (annexe C). Toute fois les données collectées jusqu'à l'arrêt de la participation à l'expérimentation, font partie intégrante de celle-ci. L'arrêt de l'activité n'entraîne pas de sanction ni perte d'avantages. La participation n'a pas entraîné des frais à charge du patient et elle est non rémunérée. Tout possible dommage sera indemnisé par les responsables de l'étude conformément à la loi relative aux expérimentations sur la personne humaine du 7 mai 2004.

#### **3.4.2 Description des bilans.**

Il s'agit d'une expérimentation composée de de 11 bilans sur plateforme. Un premier bilan contrôle où il sera demandé au sujet de garder son équilibre de façon immobile en station debout. Un deuxième bilan où il sera demandé au sujet de réaliser un déséquilibre volontaire. Les neufs bilans suivants consistent en une série de stratégies de déséquilibre volontaire qu'un possible sujet dit aphysiologique pourrait utiliser pour frauder l'examen.

Pour réaliser l'expérience les sujets sont restés habillés et on leurs a demandé de garder leurs chaussures à semelle plate, tout type de talon n'a pas était accepté. Nous nous retrouvons dans le cas d'un examen clinique, c'est pour cela que nous avons décidé de

garder les chaussures, nous voulons reproduire de la meilleure façon les situations d'équilibration de la vie de tous les jours.

Dans le cas où l'un des mouvements demandés n'était pas bien effectué, j'ai arrêté la séquence, j'ai réexpliqué le mouvement que je voulais qu'il fasse et le sujet a repris la séquence depuis le début. La personne a eu le droit de prendre une pause si elle le souhaitait et l'expérience s'est réalisée en une seule séance. En comptant le temps pour répondre aux deux questionnaires, pour donner les explications nécessaires à la réalisation des épreuves et pour réaliser les 11 bilans, la durée totale de l'expérimentation est de 1h30-2h.

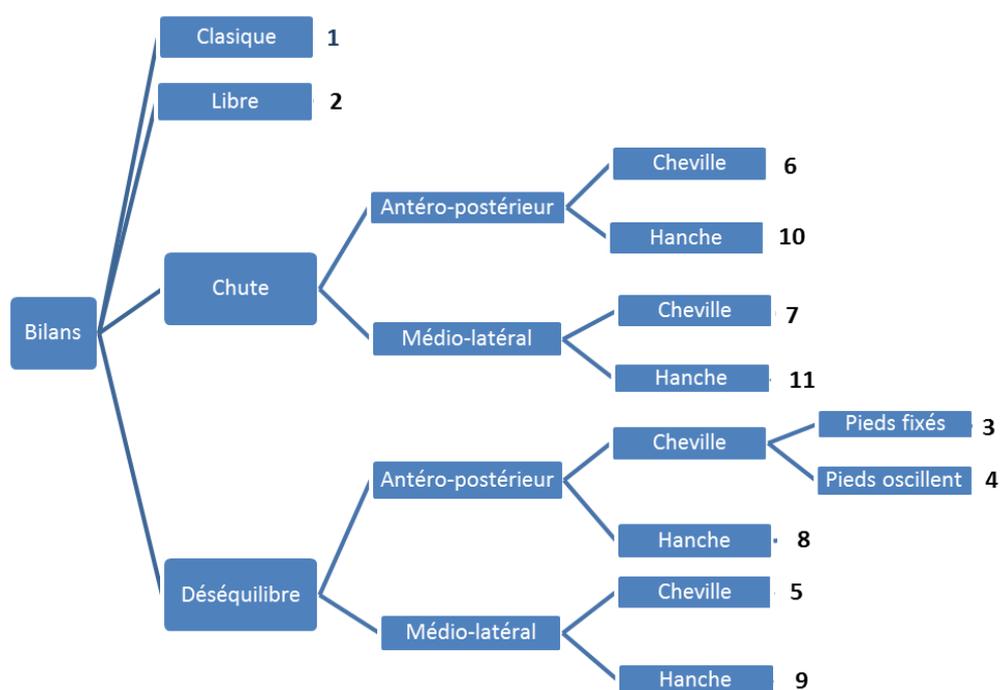


Figure 1 : Diagramme des 11 bilans.

**Bilan (B1) classique :** Le bilan classique est le test courant que le clinicien vestibulaire fait sur la plateforme Multitest®. Le sujet monte sur la plateforme et doit rester en station debout de façon la plus stable possible tout au long du test. Les pieds sont placés sur des empreintes dessinées sur la plateforme. Les trois premières séquences (A, B, C) avec la plateforme stable et les trois dernières séquences (D, E, F) avec la plateforme asservie. Ce bilan est représentatif du comportement physiologique.

**Bilan (B2) de déséquilibre volontaire libre :** Dans ce deuxième bilan, on demande au sujet de réaliser une performance de déséquilibre volontaire libre durant les 6 séquences

du bilan, en simulant le comportement d'une personne aphysiologique. On ne donne aucune autre consigne, à part qu'il doit garder les pieds sur les empreintes.

**Bilan (B3) de déséquilibre volontaire antéropostérieur organisé par une stratégie de cheville, les pieds fixes au sol** : On demande au sujet d'effectuer 10 à 12 oscillations d'avant en arrière en utilisant uniquement comme axe de mobilité les chevilles.

**Bilan (B4) de déséquilibre volontaire antéropostérieur organisé par une stratégie de cheville, les pieds oscillent des orteils aux talons** : On demande au sujet d'effectuer 10 à 12 oscillations d'avant en arrière en utilisant uniquement les chevilles comme axe de mobilité, en levant les talons et puis les orteils.

**Bilan (B5) de déséquilibre volontaire médio latéral organisé par une stratégie de cheville, les pieds fixés au sol** : On demande au sujet de réaliser 10 à 12 oscillations de droite à gauche, en utilisant strictement les chevilles comme axe de mobilité.

**Bilan (B6) de chute volontaire antéropostérieure organisé par une stratégie de cheville** : On demande au sujet de se laisser tomber volontairement 3 fois vers l'avant et 3 fois vers l'arrière en utilisant strictement la cheville comme axe de mobilité.

**Bilan (B7) de chute médio latérale organisé par une stratégie de cheville** : On demande au sujet de se laisser tomber 3 fois à gauche et 3 fois à droite en utilisant strictement les chevilles comme axe de mobilité.

**Bilan (B8) de déséquilibre volontaire antéropostérieur organisé par une stratégie de hanche** : On demande au sujet de réaliser 10 à 12 oscillation d'avant en arrière en utilisant uniquement comme axe de mobilité les hanches.

**Bilan (B9) de déséquilibre volontaire médio latéral organisé par une stratégie de hanche** : On demande au sujet d'effectuer des oscillations de droite à gauche en utilisant strictement comme axe de mobilité les hanches.

**Bilan (B10) de chute volontaire antéropostérieure organisé par une stratégie de hanche** : On demande au sujet de se laisser tomber 3 fois en avant et 3 fois en arrière en utilisant strictement comme axe de mobilité les hanches.

**Bilan (B11) de chute volontaire médio latérale organisé par une stratégie de hanche** : On demande au sujet de se laisser tomber 3 fois à droite et 3 fois à gauche en utilisant uniquement les hanches comme axe de mobilité.

### 3.4.3 Description des 6 séquences standards d'un bilan

Chaque bilan est composé de 6 séquences. Chaque séquence de test a une durée de 45 secondes. Les 15 premières secondes sont utiles pour que le sujet se familiarise avec le test et pendant ce temps le logiciel n'enregistre pas son activité. Durant les 30 secondes suivantes, on entre dans la phase d'enregistrement des tracés posturo-graphiques et des signaux stabilométriques. Chaque phase est signalée par un signal sonore alertant le sujet du début et de la fin de l'épreuve. La durée approximative pour réaliser les 6 séquences d'un bilan est d'à peu près 5 à 6 minutes.

Le système d'équilibration utilise trois entrées sensorielles nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci. En fonction de la séquence, la répartition d'utilisation des entrées sensorielles de ce système varie. La figure 2 illustre cette répartition des entrées sensorielles pour chacune des séquences de test.

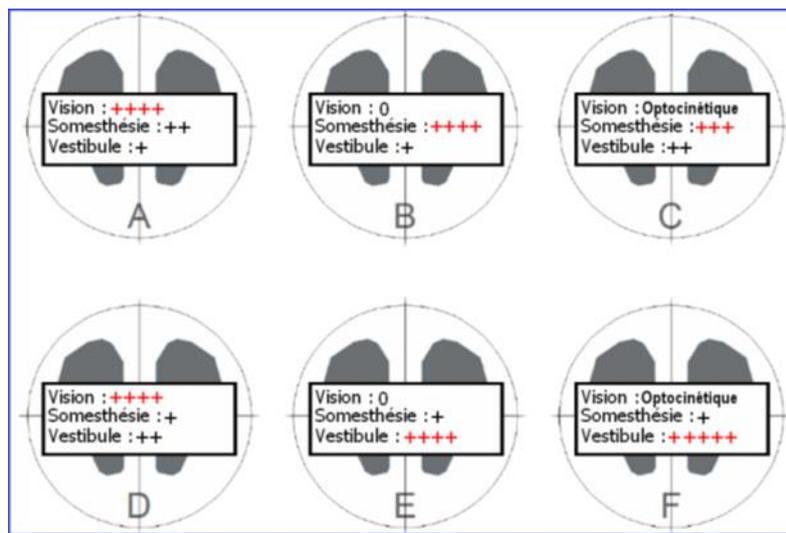


Figure 2 : Schéma des 6 séquences de test ainsi que des entrées sensorielles.

(Dupierreux, A et Gillet, A. 2016).

**Séquence (A) :** Le sujet se trouve sur une plateforme fixe, les yeux ouverts, il fixe un point rouge situé à 2.5m de lui dans l'axe de son regard. Dans la séquence A, le sujet utilise ses trois afférences sensorielles. Il se sert en avantage de la vue, suivie de la somesthésie et du vestibule.

**Séquence (B) :** Le sujet se trouve sur une plateforme fixe, les yeux fermés. Dans la séquence B, la personne utilise uniquement la somesthésie et le vestibule.

**Séquence (C)** : Le patient se trouve sur une plateforme fixe, les yeux ouverts, un flux optocinétique vertical trompe sa vision (environnement visuel mouvant). Dans la séquence C la vision est trompée, donc la somesthésie et le vestibule sont sollicités.

**Séquence (D)** : Le patient se trouve sur une plateforme asservie, les yeux ouverts, il fixe un point rouge situé à 2.5m de lui dans l'axe de son regard. Dans la séquence D, le sujet utilise principalement la vision pour s'équilibrer, suivi du vestibule car il ne peut faire confiance à la proprioception.

**Séquence (E)** : Le patient se trouve sur plateforme asservie, les yeux fermés. Dans la séquence E le sujet utilise principalement le vestibule pour s'équilibrer.

**Séquence (F)** : Le patient se trouve sur plateforme asservie, les yeux ouverts, un flux optocinétique vertical trompe sa vision (environnement visuel mouvant). La vision trompée, la plateforme asservie, le sujet utilise principalement les informations vestibulaires (Sauvageot, 2009). Un conflit sensoriel apparaît entre l'afférence visuelle (sensation de mouvement) et l'afférence vestibulaire (pas de mouvement).

#### **3.4.4 Matériel**

##### La plateforme

Pour réaliser cette expérience j'ai utilisé la Plateforme Multitest® de la société Framiral®; c'est un outil permettant de réaliser des bilans sensoriels ainsi que de rééduquer les instabilités et troubles de l'équilibre. Elle peut être utilisée en statique et en dynamique de manière asservie aux balancements du patient.



Figure 3 : Image de la plateforme Multitest®

Elle est formée d'un plan d'appui monté sur des ressorts. On est capable de moduler les degrés d'inclinaison dans tous les plans de l'espace à l'aide de vérins pneumatiques (Martin B, 2010). C'est un appareil robuste avec une barrière de sécurité pour éviter les chutes. Les dimensions de cet appareil sont : 1.60 m de hauteur, 1 m de diamètre. La plateforme est motorisée électriquement (Lisbonis et al, 2000).

#### Le logiciel PosturoPro®

Le logiciel PosturoPro® a été mis au point par une équipe de chercheurs du CNRS de Marseille : Michel Lacour et Michel Dumitrescu en collaboration avec la société Framiral®. Il incorpore des algorithmes de traitement de données, basés sur des méthodes d'analyse mathématiques qui fournissent une exploration du signal stabilométrique. Il nous permet d'étudier de façon tridimensionnelle le signal posturographique du patient sur la plateforme. Ce logiciel réalise une analyse quantitative (ex : Indice d'instabilité posturale, analyse fractale) et qualitative (ex : ondelettes) du signal enregistré, donnant une image de l'état postural de la personne (Sauvageot M, 2009 ; Barge, 2007 ; Frechard, 2008 ; Burgio, 2013).

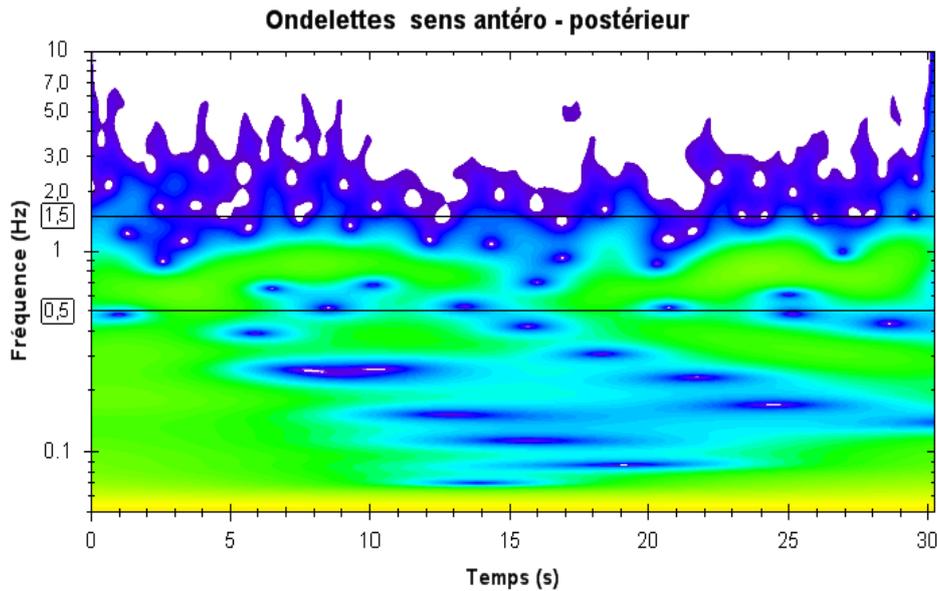


Figure 4 : Diagramme Ondelettes dans le sens antéro-postérieur (Magnin, 2008).

La figure 4 est une analyse qualitative de l'état postural du sujet. Si les ondelettes présentent des couleurs chaudes (jaune, rouge, orange) le sujet dépense beaucoup d'énergie pour s'équilibrer. Dans ce cas-ci on retrouve des couleurs froides (bleu, vert) indiquant que le sujet ne dépense pas une grande quantité d'énergie pour son maintien postural (Magnin, 2008).

Pour réaliser cette analyse posturographique, les consignes de mon promoteur étaient de récupérer 4 paramètres fournis par le logiciel qui pourraient être susceptibles de nous donner des informations par rapport au comportement aphysiologique. L'indice d'instabilité osturale, la Vitesse moyenne au Point Critique, les pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur et dans le plan médio-latérale.

Indice d'Instabilité Posturale (IIP).

Il est fourni par le logiciel et c'est une note globale qui donne une vision générale de l'état de stabilité du sujet. Il est calculé à partir de la somme des divisions de l'indice de puissance (IP) par l'indice de contrôle postural (ICP). Plus l'indice d'instabilité posturale est bas, meilleur est le control postural du sujet et inversement (Dumitrescu M et Lacour M, 2006).

$$IIP = \sum_x \sum_y \frac{IP(F1, F2, F3)}{ICP(F1, F2, F3)}$$

Indice de Contrôle Postural (ICP).

Le logiciel calcule les temps d'annulations au cours d'une fréquence donnée durant lesquelles le sujet ne dépense pas d'énergie pour maintenir son équilibre. Ces temps d'annulations représentent des petites surfaces sous forme d'un graphe fourni par le logiciel. L'indice de contrôle postural est l'intégrale des surfaces de ces temps d'annulation dans le sens antéro-postérieur ou medio-latéral. Un ICP élevé est révélateur d'un bon contrôle postural en revanche un ICP faible est indicateur d'un déficit de régulation posturale (Barge, 2007).

Dans la figure 5, on peut observer le calcul de l'ICP dans le sens antéropostérieur issu d'un des volontaires. Dans cet exemple ci-dessous : l'ICP de 0 à 0.5 Hz est égal à 0,11, l'ICP de 0,5 à 1,5 Hz est égal à 1,35, l'ICP de 1,5 à 10 est égal à 0,04.

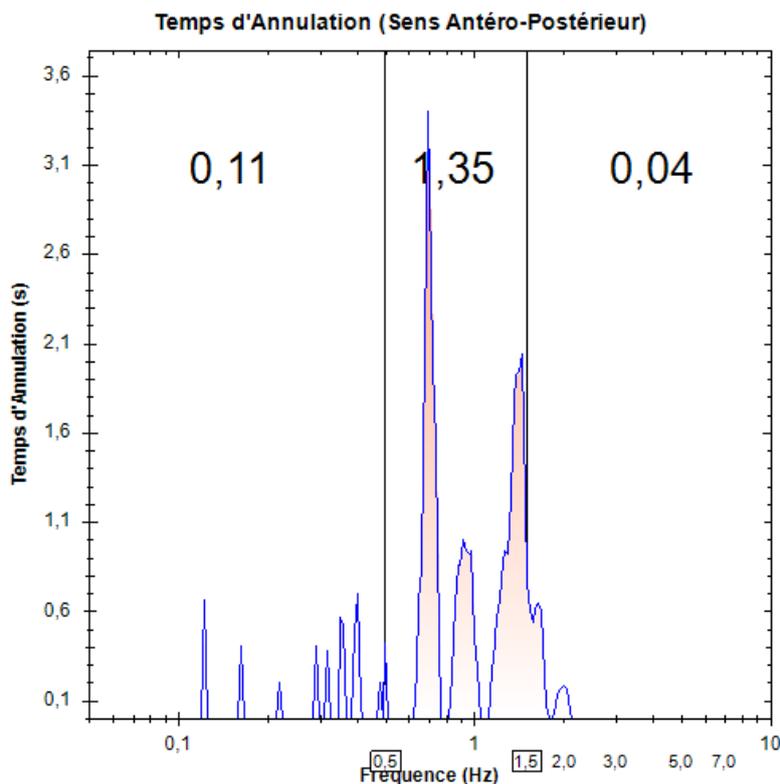


Figure 5 : Temps d'annulation sens antéro-postérieur.

Indice de Puissance (IP).

L'obtention de l'IP se fait par le calcul de l'intégrale sous la courbe du graphique des puissances (ordonnées) en fonction des fréquences (abscisses). Cet indice nous indique la quantité d'énergie que le sujet dépense pour maintenir son équilibre sur la plateforme pour une séquence déterminée. « Plus l'indice de Puissance est élevé plus le sujet est en instabilité posturale. » (Gorke, 2010).

La figure 6 correspond aux résultats d'un des volontaires de l'expérience. Dans cette illustration on observe l'aire sous la fonction puissances/fréquences dans le sens antéropostérieur. Pour cet exemple : Dans la bande de fréquence allant de 0 à 0.5 Hz, l'IP est égal à 79,74 et dans la bande de fréquence allant de 0,5 à 1,5 Hz, l'IP est de 70,79.

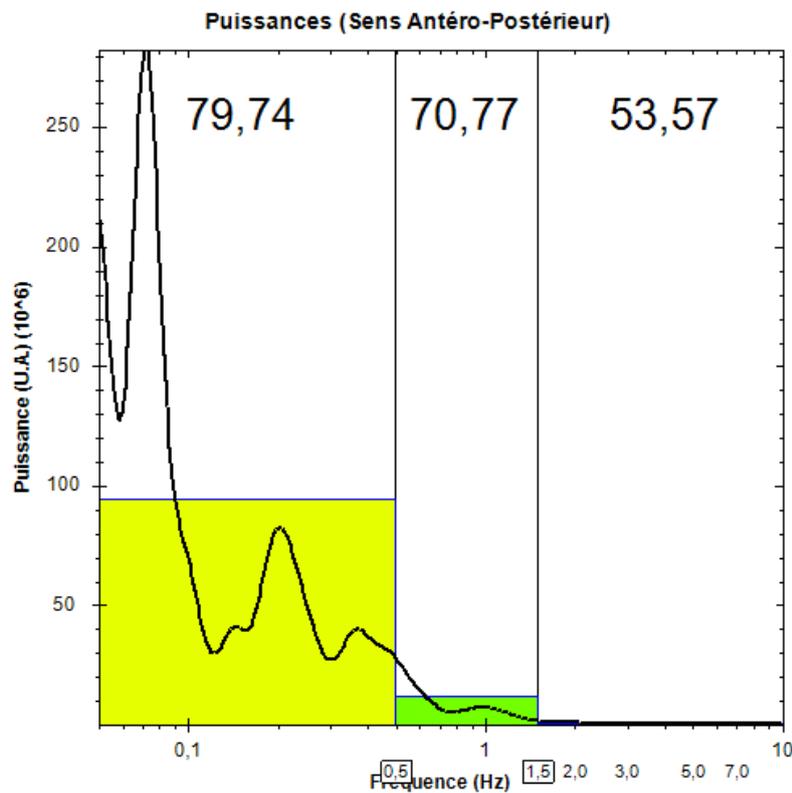


Figure 6 : Graphique puissances/Fréquences.

Vitesse moyenne du point critique (VPC).

PosturoPro® inclus l'Analyse de diffusion de Collins et De Luca (1995). Cette analyse détermine sur le statokinésiogramme les coordonnées du point critique (Sauvageot,

2009). Les coordonnées de ce point critique on pour abscisse le temps (secondes) et pour ordonnées la surface quadratique (mm<sup>2</sup>). C'est ce point critique qui détermine le moment où l'on passe d'une boucle ouverte (déplacements aléatoires du CdP) à une boucle fermée dite rétroactive (intervention des mécanismes de contrôle postural). L'augmentation du temps d'intervention des mécanismes régulateurs de la posture, ainsi que l'augmentation de l'amplitude quadratique moyenne signifient que le déplacement du CdP est trop important et qu'il est corrigé tardivement. Ce phénomène est observable chez les patients chuteurs ou instables (Gorke, 2010).

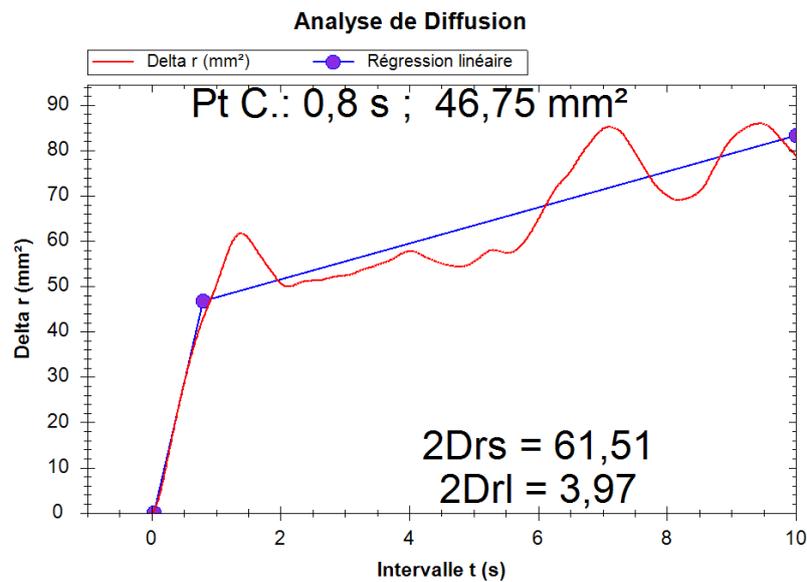


Figure 7 : Analyse de diffusion.

Ce graphique ci-dessus obtenu des résultats d'un volontaire, représente l'analyse de diffusion expliqué plus haut. Dans cet exemple pour un déplacement quadratique moyen 46,75 mm<sup>2</sup> le temps critique est de 0,8 s.

## Déplacement quadratique moyen (mm<sup>2</sup>)

LACOUR

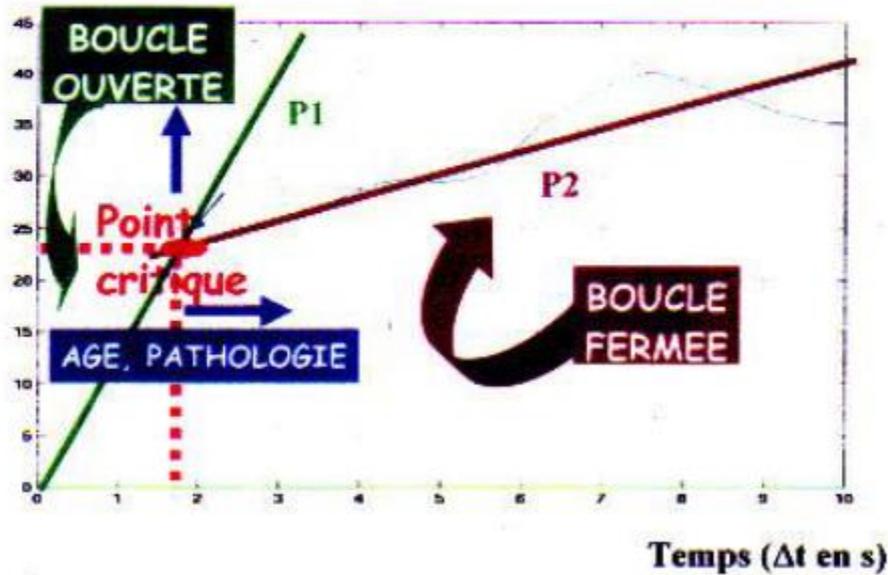


Figure 8 : Boucle ouverte et boucle fermée (Gorke, 2010).

Dans la figure 8, le schéma reprend l'analyse de diffusion avec la boucle ouverte (déplacement du CdP, droite P1), la boucle fermée (mécanismes de régulation de la posture, droite P2) et le point critique (intersection déplacement quadratique moyen/temps critique) (Gorke, 2010).

Quand un sujet se trouve sur la plateforme, son CdP va osciller de façon aléatoire dans sa base de sustentation. Le temps critique marque le moment où le cerveau intègre l'information d'un déplacement anormal du CdP et établit un schéma de correction à fin d'éviter la chute, ceci correspond à la droite P2 de la figure 7.

La vitesse moyenne au point critique (mm/s) met en relation le déplacement quadratique moyen (mm<sup>2</sup>) avec le temps moyen. Cette vitesse est obtenue par la racine carrée du déplacement quadratique moyen divisée par le temps moyen, c.à.d :

$$\text{vitesse au point critique} = \frac{\sqrt{\text{Amplitude critique (mm}^2\text{)}}}{\text{Temps critique (s)}}$$

Plus la vitesse du point critique est élevée, plus le déplacement du CdP est rapide, ce qui signifie que le sujet est plus instable (Dupierreux A et Gillet A, 2016).

L'analyse fractale : Le pourcentage de points d'Hausdorff (PH)

Cette analyse permet de déterminer si deux points consécutifs du signal stabilométrique sont non corrélés (deux points séparés par un espace d'Hausdorff) ou corrélés et pouvoir ainsi déterminer une relation causale entre les deux (Dumitrescu M et Lacour M, 2006).

Des points successifs non corrélés témoignent d'une rupture dans la trajectoire de déplacement du CdP et par conséquent d'un déplacement aléatoire du CdP dans l'espace (dans le sens antéropostérieur et dans le sens médio-latérale). Ces points non corrélés sont appelés les Points d'Hausdorff et sont révélateurs de la part du hasard dans le déplacement du CdP chez un sujet déterminé. Ce point d'Hausdorff représente aussi l'instant où le sujet perd momentanément le contrôle de sa posture. Cette perte de contrôle est directement corrigée et les points redeviennent ensuite corrélés. Le sujet ne corrige pas sa posture car le contrôle se comporte de façon naturelle. Des points successifs corrélés expriment une relation causale dans le déplacement du CdP dans l'espace (Barge, 2010).

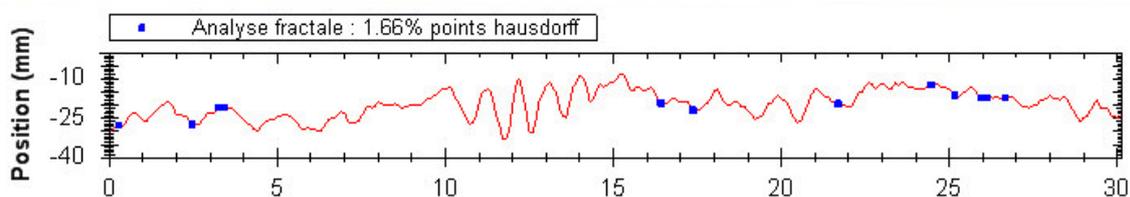


Figure 9 : Diagramme de l'analyse fractale (Magnin, 2008)

La figure 9, représente une analyse fractale avec le pourcentage de points d'Hausdorff. Le nombre de points bleus représente les points d'Hausdorff (n) et le tracé rouge représente les points totaux (N).

Il est important de savoir que tout sujet sain oscille naturellement et qu'il y a une part de hasard dans le déplacement de son CdP. Les mécanismes d'équilibration permettent de corriger le déséquilibre induit par ce déplacement involontaire. Le pourcentage de points d'Hausdorff représente la part du hasard dans ce déplacement du CdP. La dimension fractale (Pourcentage des points d'Hausdorff) s'exprime par le rapport  $n/N$  où  $n$  est le nombre de points non corrélés (points d'Hausdorff) et  $N$  le nombre de points totaux (Sauvageot, 2009).

On peut comprendre qu'au plus ce pourcentage de points est élevé, plus la part du hasard dans le déplacement du CdP est importante et donc représentative d'un déplacement du CdP aléatoire, qui ne serait pas contrôlé à certains moments. Inversement quand ce pourcentage est faible, cela nous indique que le déplacement est peu lié au hasard et qu'on est face à un sujet qui organise son déséquilibre de façon attentionnel (Dupierreux A et Gillet A, 2016). Par conséquent un IIP élevé accompagné d'un faible pourcentage de points d'Hausdorff démontre une instabilité sous contrôle du SNC.

### **3.5 Méthodes statistiques**

#### **3.5.1 Introduction**

Le premier objectif de l'analyse statistique est de corroborer l'existence d'une différence significative entre les séquences du bilan contrôle (B1) et les séquences des bilans de déséquilibre volontaire (B2 à B11) pour un échantillon supérieur à 30 sujets. Cette différence avait déjà été vérifiée par Dupierreux A et Gillet A (2016) sur base d'un échantillon de petite taille.

Le deuxième objectif de l'analyse statistique aura pour but de vérifier s'il existe aussi une différence significative entre les séquences des bilans de déséquilibre volontaire (B2, B3, et B5 à B11) et les séquences du bilan B4.

Le troisième objectif sera d'analyser comment les facteurs 'entrée visuelle' et 'entrée somesthésique' influencent les résultats obtenus pour chacun des bilans (B1 à B11).

#### **3.5.2 Préparation des données**

Pour entamer l'analyse statistique des données, j'ai assemblé toutes les valeurs des paramètres retenus (indice d'instabilité posturale, vitesses au point critique et tous les point d'Hausdorff dans le sens antéro-postérieur et médio-latéral). Ces quatre paramètres ont été réunis pour chacune des six séquences des 11 bilans réalisés et pour tous les sujets de l'échantillon (n=48) dans un tableau EXCEL.

Par la suite, j'ai exporté ce tableau sur le logiciel informatique SPSS avec lequel j'ai analysé statistiquement mes données.

Puisqu'il s'agit d'une répétition de mesures sur un même ensemble de sujets, les tableaux pour SPSS sont organisés avec un rang par sujet et une colonne pour chaque

variable, c'est-à-dire chaque combinaison 'bilan-séquence'. Un tableau avec cette forme a été créé pour chacun des quatre paramètres.

### 3.5.3 Analyses statistiques

#### Seuil de signification des tests statistique

Le seuil de signification statistique, aussi appelé « p-valeur », représente la probabilité que le résultat observé soit dû au hasard si l'hypothèse de départ est considérée comme vrai. C'est-à-dire, on considère que l'hypothèse de départ est respectée quand la probabilité que cette différence soit due au hasard est inférieure à ce seuil.

La procédure généralement employée consiste à définir comme hypothèse nulle (H0) celle où il n'y a pas de différence significative et l'hypothèse alternative (H1) celle qui résulte en une différence significative.

Des p-valeurs  $> 0,05$  empêchent de conclure qu'il existe une différence ou une relation significative et l'hypothèse H1 est rejetée. Des p-valeurs  $< 0,05$  permettent de conclure qu'il existe une différence ou relation significative, c'est-à-dire l'hypothèse H1 est retenue.

Pour tous les tests statistiques, j'ai utilisé un seuil de signification standard de 5% ou p-valeur = 0,05. Quand le p-valeur est inférieure à 0,01 on dit que le résultat du test statistique est hautement significatif.

#### Test de normalité

Premièrement j'ai testé l'hypothèse de normalité pour chacune des mesures des paramètres analysés pour chaque bilan et chaque séquence. Pour cela, j'ai utilisé le test de **normalité Shapiro-Wilk**. La normalité de ces échantillons est une condition requise pour certaines analyses ultérieures.

Dans le logiciel SPSS les hypothèses sont établies de la façon suivante :

Hypothèse nulle H0 : L'échantillon provient d'une population avec une distribution normale. Les déviations de l'échantillon par rapport à la normalité sont résultat du hasard avec une probabilité de à 0,95.

Hypothèse alternative H1 : L'échantillon n'est pas issu d'une population avec une distribution normale.

### Test de comparaison de moyennes

Les comparaisons de moyennes ont été réalisées avec le **test T** pour **échantillons appariés** ; quand ce test n'était pas d'application puisque la condition de normalité de l'échantillon n'était pas respectée, j'ai utilisé un test non-paramétrique de **Wilcoxon** (test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés).

Les hypothèses pour ces tests (test T pour échantillons appariés et test de Wilcoxon) sont établies comme suit :

Hypothèse nulle H0 : Il n'existe pas de différence significative entre les moyennes des deux bilans comparés, pour chaque séquence. Les différences observées dans l'échantillon sont liées au hasard.

Hypothèse alternative H1 : Il existe une différence significative entre les moyennes des deux bilans comparés, pour chaque séquence. Les différences observées dans l'échantillon ne peuvent pas être dues au hasard.

### Analyse de la variance (ANOVA)

Pour observer l'effet des différentes entrées sensorielles sur les paramètres mesurés par le logiciel PosturoPro®, j'ai utilisé la technique **d'analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées**. Cette technique est une variante de l'ANOVA classique, qui s'applique quand les mesures sont réalisées à différents moments ou dans de différentes conditions sur un échantillon composé des mêmes sujets. Il faut noter que la normalité de l'échantillon est une condition pour utiliser cette technique.

L'analyse de la variance inclut plusieurs tests statistiques.

Pour le test d'sphéricité de Mauchly, les hypothèses pour ce test sont établies comme suit :

Hypothèse nulle H0 : La condition de sphéricité est respectée. Les différences par rapport à ce critère sont dues au hasard.

Hypothèse alternative H1 : La condition de sphéricité n'est pas respectée. Les différences par rapport à ce critère ne sont pas dues au hasard.

Pour l'analyse de la variance les hypothèses sont établies comme suit :

Hypothèse nulle  $H_0$  : Il n'existe pas une différence significative entre les moyennes de chaque paramètre pour les bilans comparés, liée aux différentes combinaisons des facteurs analysés (entrées sensorielles). Les différences observées dans l'échantillon sont liées au hasard.

Hypothèse alternative  $H_1$  : Il existe une différence significative entre les moyennes des chaque paramètre pour les bilans comparés, liée aux différentes combinaisons des facteurs analysées. Les différences observées dans l'échantillon ne peuvent pas être dues au hasard.

## 3.6 Présentation des résultats obtenus avec le logiciel PosturoPro®

### 3.6.1 Considérations générales

Avant de présenter les résultats obtenus, il convient de faire quelques considérations par rapport aux données de base.

Dans l'échantillon j'ai trouvé quelques occurrences de données qui étaient manifestement erronées, comme par exemple un temps critique négatif ou des données vraisemblablement incorrectes par rapport à la grandeur de la moyenne des valeurs obtenus. Ces données ont été corrigées, les détails des corrections se trouvent dans l'annexe F.

Dans certains échantillons on retrouve des valeurs extrêmes qui n'ont pas été supprimées puisque on ne peut pas déterminer si cette variabilité est naturelle ou due à une erreur du matériel. Ces extrêmes sont probablement une des causes qui font que l'hypothèse de normalité ne soit pas toujours respectée.

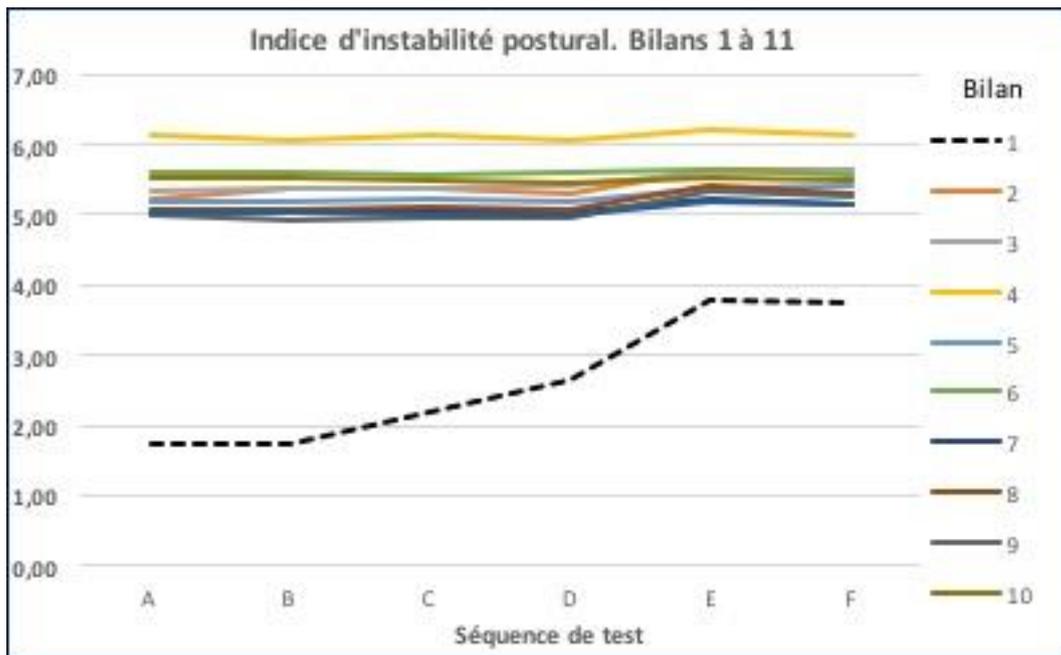
### 3.6.2 L'indice d'Instabilité Posturale

Les résultats obtenus pour le paramètre d'indice d'instabilité posturale sont repris dans le tableau ci-dessous. Voici les moyennes de chacune des 6 séquences des 11 bilans réalisés sur plateforme.

Séquences	Bilans										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	1,74	5,23	5,34	6,13	5,20	5,59	4,99	5,06	5,00	5,54	5,02
B	1,75	5,38	5,37	6,08	5,18	5,60	5,04	5,06	4,93	5,55	5,02
C	2,18	5,39	5,40	6,14	5,23	5,56	5,04	5,10	4,95	5,49	5,00
D	2,65	5,32	5,41	6,07	5,18	5,60	5,05	5,09	4,96	5,46	4,99
E	3,77	5,63	5,60	6,20	5,37	5,66	5,23	5,40	5,34	5,54	5,20
F	3,75	5,63	5,63	6,15	5,40	5,57	5,16	5,32	5,27	5,49	5,14

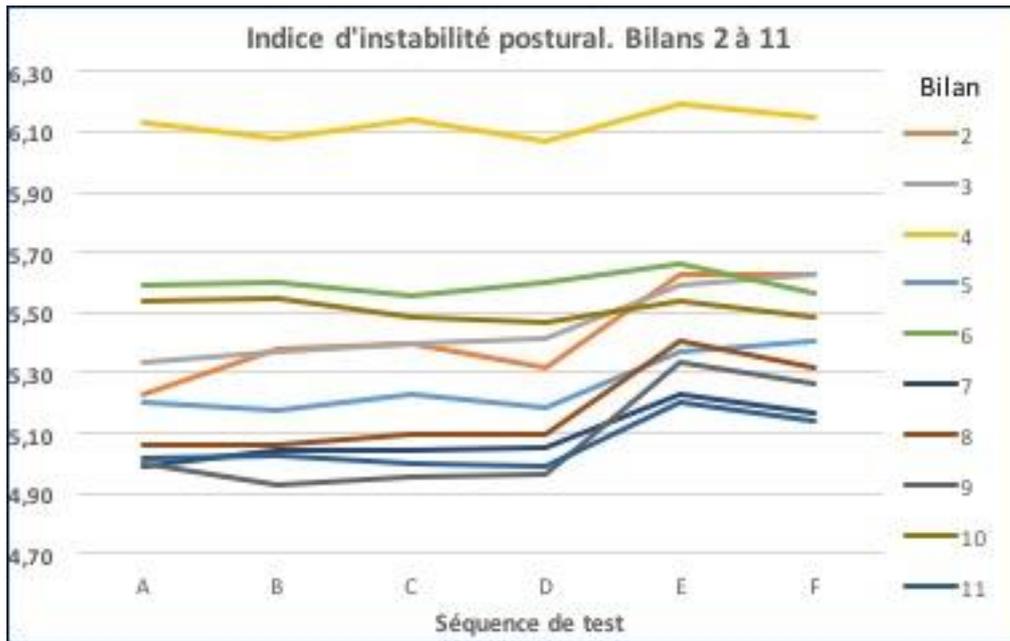
Tableau 1 Moyennes des valeurs de l'Indice d'Instabilité posturale pour les 6 séquences (A à F) des 11 bilans (1 à 11).

On observe une augmentation des résultats obtenus dans les séquences des bilans 2 à 11 (Bilans de déséquilibres volontaires contrôlés) par rapport aux résultats dans le bilan 1 (Bilan contrôle). Dans le graphique 1 on peut voir cette différence entre le bilan contrôle et les bilans de déséquilibre volontaire. Le graphique 1 nous montre aussi que les IIP de bilans 2 à 11 présentent tous des valeurs similaires indépendamment de la séquence de test.



Graphique 1 : Représentation des moyennes d'indice d'instabilité posturale pour tous les bilans.

Dans le graphique 2 ci-dessous, on observe également que cette augmentation est d'autant plus importante dans les séquences du bilan 4 (Déséquilibre volontaire antéro-postérieur organisé par une stratégie de cheville, les pieds oscillent en décollant soit les orteils soit les talons) par rapport à tous les autres bilans de déséquilibre volontaire.



Graphique 2 : Moyennes d'indices d'instabilité posturale pour les bilans de déséquilibre volontaire uniquement (B2 à B11).

### 3.6.3 La vitesse du point critique

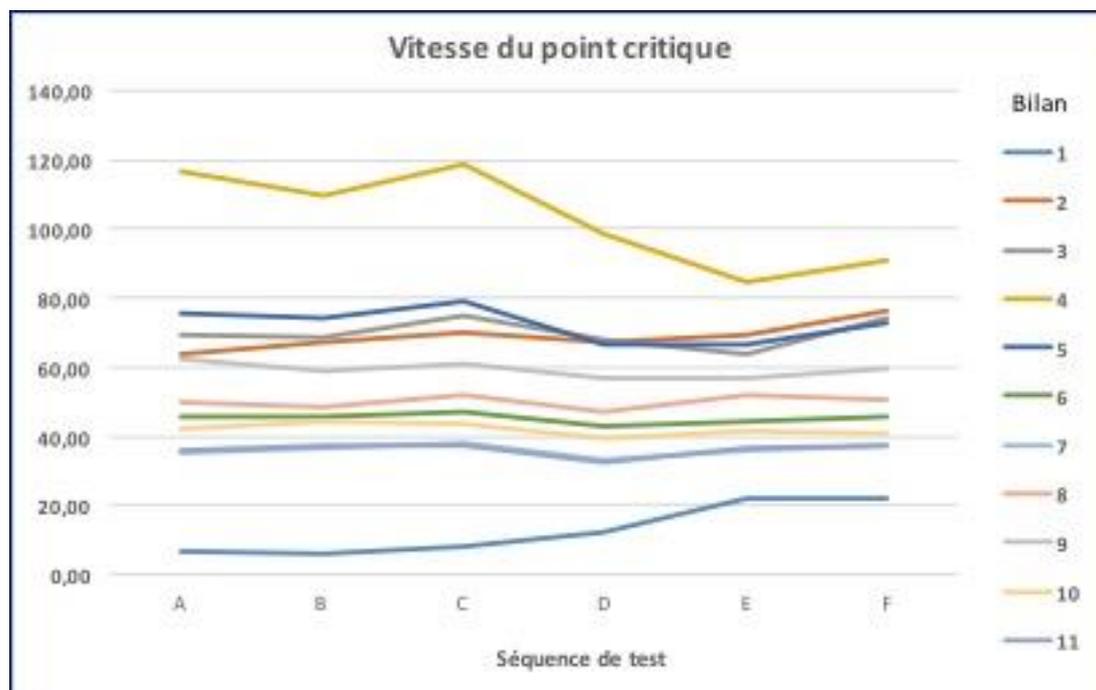
Les résultats obtenus pour la vitesse au point critique sont repris dans le tableau 2 ci-dessous. Voici les valeurs des moyennes de chacune des 6 séquences des 11 bilans. Comme pour l'IIP, on observe une augmentation de la vitesse dans les séquences des bilans 2 à 11 (Bilans de déséquilibre volontaire contrôlé) par rapport au bilan 1 (Bilan contrôle). On observe également que cette augmentation est d'autant plus importante pour le bilan 4 par rapport à tous les autres bilans.

Séquences	Bilans										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>A</b>	6,45	63,56	69,29	116,53	75,57	46,05	35,51	49,95	62,33	41,91	36,20
<b>B</b>	5,84	67,46	68,83	109,45	74,08	45,86	36,42	48,35	59,14	44,29	37,69
<b>C</b>	8,12	69,84	74,59	118,53	79,05	47,10	38,16	52,20	61,01	43,98	37,23
<b>D</b>	12,56	67,08	67,77	98,73	66,71	43,10	32,93	47,03	56,51	39,67	32,85
<b>E</b>	22,24	69,38	63,93	84,75	66,57	44,14	36,23	51,85	57,03	41,32	36,80
<b>F</b>	21,89	76,58	74,39	90,62	72,53	45,45	37,56	50,27	59,82	41,17	37,12

Tableau 2 Moyennes des valeurs de la vitesse du point critique pour les 6 séquences (A à F) et les 11 bilans (1 à 11) en mm/s

Le graphique 3 met en évidence ces deux constatations : l'augmentation de la vitesse dans les bilans de déséquilibre volontaire par rapport au bilan de contrôle, ainsi que l'augmentation de la vitesse dans le bilan 4 par rapport aux autres bilans de déséquilibre volontaire. On observe une diminution des valeurs du bilan 4 avec la plateforme

instable car il est plus difficile d'osciller entre les talons et les orteils sans l'entrée somesthésique.



Graphique 3: Moyennes des vitesses au point critique.

### 3.6.4 Le pourcentage des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur

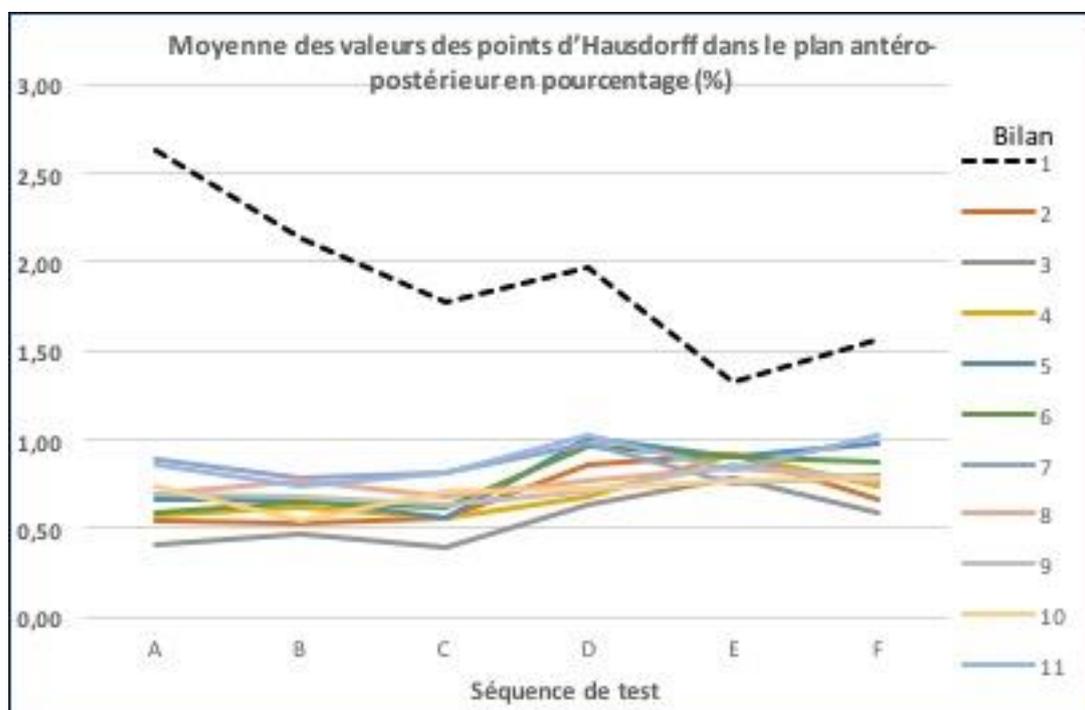
Le tableau ci-dessous (tableau 3), reprend les moyennes des valeurs des pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur pour les 6 séquences de chacun des 11bilans. On observe une diminution des moyennes des bilans de déséquilibre volontaires (Bilan 2 à 11) par rapport au bilan de contrôle en statique (Bilan 1).

Séquences	Bilans										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	2,62	0,54	0,41	0,57	0,67	0,58	0,90	0,69	0,70	0,74	0,86
B	2,14	0,53	0,47	0,62	0,66	0,66	0,79	0,76	0,67	0,55	0,74
C	1,78	0,55	0,39	0,56	0,55	0,61	0,82	0,67	0,63	0,70	0,82
D	1,97	0,86	0,63	0,69	1,01	0,96	0,98	0,77	0,70	0,72	1,02
E	1,32	0,93	0,79	0,92	0,90	0,91	0,76	0,84	0,87	0,77	0,83
F	1,56	0,67	0,58	0,74	0,98	0,87	0,80	0,77	0,77	0,78	1,02

Tableau 3 Moyenne des valeurs des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur en pourcentage (%) pour les 6 séquences (A à F) des 11 bilans (1 à 11)

Le graphique 4 reprend les valeurs du tableau 3, on voit cette diminution entre les valeurs du bilan contrôle et les valeurs des autres bilans. On peut aussi observer dans ce

graphique un pic important dans la séquence D (Plateforme asservie, yeux ouverts), surtout pour le bilan contrôle. Ce pic d'augmentation spécifique dans la séquence D est aussi présent dans les autres bilans de déséquilibre volontaire mais de façon moins importante.



Graphique 4 : Moyenne des pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur.

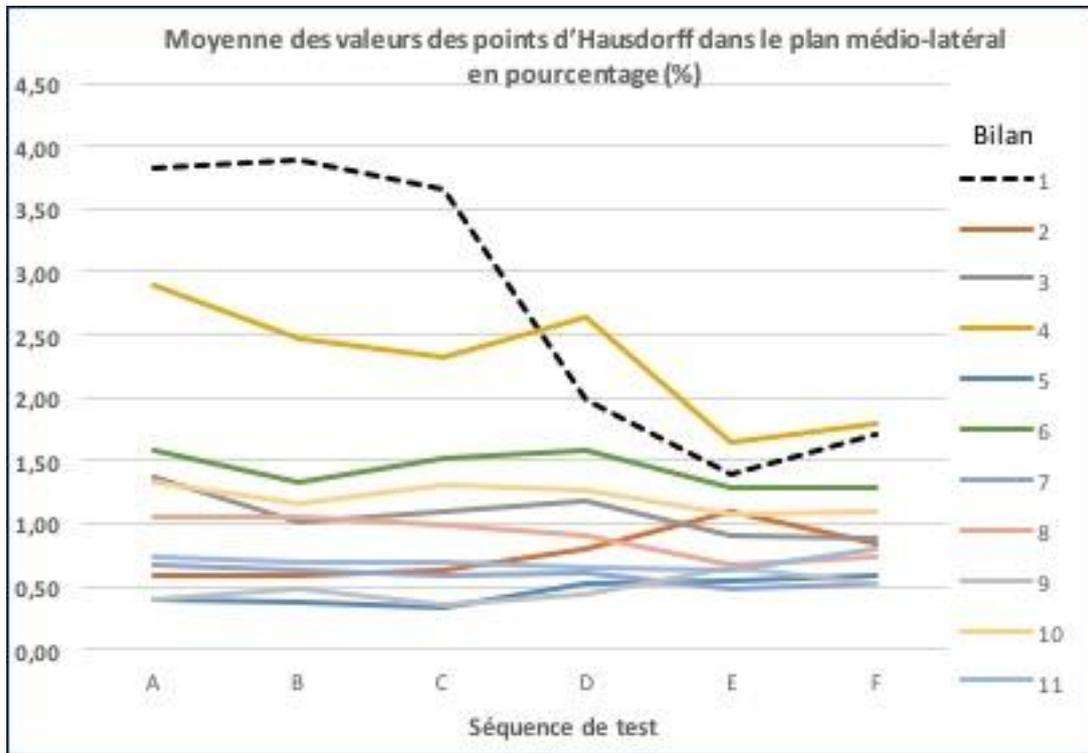
### 3.6.5 Le pourcentage des points d'Hausdorff dans le plan médio-latéral

Le tableau ci-dessous (Tableau 4.) reprend les moyennes des pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan médio-latérale pour les 6 séquences de chacun des 11 bilans. On constate une diminution des moyennes des bilans de déséquilibre volontaire (Bilans 2 à 11) par rapport aux moyennes du bilan contrôle (Bilan 1).

Séquences	Bilans										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	3,83	0,58	1,37	2,90	0,40	1,58	0,68	1,06	0,40	1,33	0,74
B	3,89	0,59	1,00	2,48	0,37	1,32	0,62	1,06	0,48	1,16	0,69
C	3,66	0,62	1,10	2,31	0,33	1,52	0,59	0,99	0,36	1,31	0,68
D	1,98	0,80	1,18	2,65	0,52	1,57	0,60	0,90	0,44	1,26	0,66
E	1,38	1,10	0,91	1,65	0,54	1,29	0,48	0,67	0,64	1,07	0,63
F	1,70	0,83	0,87	1,80	0,59	1,28	0,51	0,73	0,51	1,10	0,80

Tableau 4 Moyenne des valeurs des points d'Hausdorff dans le plan médio-latéral en pourcentage (%) pour les 6 séquences (A à F) des 11 bilans (1 à 11).

Dans le graphique 5 ci-dessous on peut observer une diminution des moyennes des bilans de déséquilibre volontaire par rapport au bilan contrôle. On perçoit aussi que les moyennes du bilan 4 sont supérieures à celles des autres bilans de déséquilibre volontaire. On constate également que les moyennes dans les sequences D, E, F (Plateforme asservie) du bilan 4 sont supérieures à celles dans le bilan contrôle.



Graphique 5 : Moyenne des pourcentages des point d'Hausdorff dans le plan médio-latéral.

### 3.7 Résultats de l'analyse statistique

#### 3.7.1 Tests de normalité

Dans le cas de l'indice d'instabilité posturale (IIP), après application du test de normalité Shapiro-Wilk nous pouvons retenir l'hypothèse selon laquelle ce paramètre présente une distribution normale pour la majorité des échantillons. Il y a 10 exceptions pour lesquelles les p-valeurs sont  $< 0,05$  et, donc, elles ne sont pas normales. Voir tableau E.01 en annexe.

Dans le cas du paramètre vitesse au point critique, après application du test de normalité Shapiro-Wilk les résultats, montrent que sur les 66 mesures uniquement 27 ont une distribution normale. Voir tableau E.02 en annexe.

Dans le cas des pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan antéro-postérieur, après application du test de normalité Shapiro-Wilk les résultats, montrent uniquement 2 mesures sur 66 où la distribution est normale. Tableau E.03 en annexe.

Dans le cas des pourcentages des points d'Hausdorff dans le plan médio-latérale, après l'application du test de normalité Shapiro-Wilk les résultats, montrent uniquement 6 mesures sur 66 où la distribution est normale. Tableau E.04 en annexe.

### **3.7.2 Comparaison de moyennes**

#### Comparaison de moyennes entre le bilan 1 et les bilans 2 à 11

La comparaison de moyennes pour l'indice d'instabilité posturale a été faite soit avec le test T d'échantillons appariés, soit avec le test non paramétrique de Wilcoxon, si la condition de normalité d'un des éléments de la paire n'était pas respectée. On observe que toutes les différences sont hautement significatives « p-valeurs < 0,001 » pour toutes les comparaisons. Voir annexe E.05

Pour le paramètre vitesse au point critique, la comparaison de moyennes a été faite soit avec le test T d'échantillons appariés, soit avec le test de Wilcoxon. On observe que toutes les différences sont hautement significatives « p-valeurs < 0,001 » pour toutes les comparaisons. Voir annexe E.06

Pour le paramètre des pourcentages des points d'Hausdorff, la comparaison de moyennes a été faite uniquement avec le test de Wilcoxon. On observe que les différences sont hautement significatives « p-valeur < 0,001 » pour toutes les comparaisons dans le plan antéro-postérieur. La comparaison de moyennes dans le plan médio-latéral montre une différence significative « p-valeur < 0,05 » pour 6 des comparaisons, une différence hautement significative « p-valeur < 0,001 » pour 49 des comparaisons et ne présentent pas de différence significative « p-valeur > 0,05 » pour 5 des comparaisons. Voir annexe E.07

#### Comparaison de moyennes entre le bilan 4 et les bilans 2, 3 et 5 à 11

Après l'observation des graphiques et des tableaux, on peut voir la dissemblance dans les valeurs du bilan 4 par rapport aux valeurs des autres bilans en condition aphysiologique. Une comparaison de moyennes est nécessaire pour vérifier si cette différence observée est significative.

La comparaison de moyennes pour l'indice d'instabilité posturale (IIP), a été faite soit avec le test T d'échantillons appariés, soit avec le test de Wilcoxon. On observe que toutes les différences sont hautement significatives « p-valeur<0,001 » pour toutes les comparaisons. Annexe E.08

Pour le paramètre vitesse au point critique, la comparaison de moyennes a été faite soit avec le test T d'échantillons appariés soit avec le test de Wilcoxon. On observe 58 différences hautement significatives « p-valeurs<0,001 » et uniquement 2 différences significatives « p-valeurs<0,05 ». Voir annexe E.09

Pour le paramètre des pourcentages des points d'Hausdorff, la comparaison de moyennes a été faite uniquement avec le test de Wilcoxon. On observe que les différences sont significatives « p-valeur<0,05 » pour 15 des comparaisons et ne sont pas significatives « p-valeur>0,05 » pour 45 des comparaisons dans le plan antéro-postérieur. La comparaison de moyennes dans le plan médio-latéral montre une différence significative « p-valeur<0,05 » pour 2 des comparaisons et une différence hautement significative « p-valeur<0,001 » pour 58 des comparaisons. Voir tableau E.10. en annexe.

### **3.7.3 Analyse de la variance à mesures répétées**

Le test d'analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées ne peut être réalisé que sur des échantillons issus d'une population normale et qui respectent l'homogénéité des variances, la sphéricité.

Ces conditions sont respectées uniquement pour le paramètre de l'indice d'instabilité posturale (IIP) avec le test Shapiro-Wilk pour la normalité et le test de Mauchly pour la sphéricité. Ces conditions ne sont pas respectées pour les trois autres paramètres, l'ANOVA à mesures répétées pourrait donner des interprétations erronées, raison pour laquelle j'ai décidé de ne pas les inclure.

Les deux facteurs de cet ANOVA sont : La position de la plateforme avec deux possibilités ; valeurs fixes (1) ou asservies (2) et la vision avec trois valeurs possibles ; les yeux ouverts (1), les yeux fermés (2) et la vision trompée (3). La combinaison de ces deux paramètres donne comme résultat les différentes séquences décrites dans la figure 2.

Bilans	Plateforme	Yeux	Plateforme*yeux
1	Oui	Oui	Oui
2	Non	Oui	Non
3	Oui	Oui	Oui
4	Non	Non	Non
5	Oui	Oui	Oui
6	Non	Non	Non
7	Oui	Oui	Non
8	Oui	Oui	Oui
9	Oui	Oui	Oui
10	Non	Non	Oui
11	Oui	Oui	Oui

Tableau 5 : Facteurs statistiquement significatifs selon ANOVA.

L'ANOVA nous donne comme résultat les facteurs qui sont statistiquement significatifs dans la variation de l'indice d'instabilité posturale pour chaque bilan du 1 au 11. Le tableau 5 nous indique que la variation du facteur plateforme (stable ou asservie) a un effet sur les bilans 1, 3, 5, 7, 8, 9 et 11. Le facteur yeux (fermés, ouverts, vision trompée) a un effet sur les bilans 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 et 11. Le facteur plateforme combiné au facteur yeux, a un effet sur les bilans 1, 3, 5, 8, 9, 10 et 11.

Plus précisément, le facteur plateforme est hautement significatif « p-valeur<0,001 » pour les bilans 1, 3, 8 et 9 et significatif « p-valeur<0,05 » pour les bilans 5, 7 et 11. Le facteur yeux est hautement significatif « p-valeur<0,001 » pour les bilans 1, 2, 3, 5 et 9 et significatif « p-valeur<0,05 » pour les bilans 7, 8 et 11. Le facteur plateforme combiné au facteur yeux est hautement significatif « p-valeur<0,001 » pour les bilans 1, 5 et 9 et significatif « p-valeur<0,05 » pour les bilans 3, 8, 10 et 11. Voir tableau E.11 en annexe.

Les graphiques E.01 produits par le logiciel SPSS représentent la variation de l'IIP par rapport à la valeur des deux facteurs.

## 4 Discussion

L'étude du comportement aphysiologique est nécessaire afin de prévenir des fraudes dans le système de santé publique ou d'éviter des erreurs de diagnostic. Les critères qui décrivent ces sujets aphysiologiques sur la plateforme Equitest® peuvent être aussi utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus sur le Multitest®. Il est évident que l'observation clinique est très utile et joue un rôle primordial dans l'objectivation d'un tel comportement. Je vais ici décrire et discuter les différentes analyses que j'ai faites de cette expérience pour les résultats obtenus pour les quatre paramètres issus du logiciel PosturoPro®.

Le premier paramètre qu'on a analysé c'est l'**Indice d'Instabilité Posturale (IIP)**. Les résultats statistiques montrent une augmentation hautement significative ( $p$ -valeur $<0,001$ ) entre les IIP des séquences des bilans en condition aphysiologique (bilans 2 à 11) et les IIP des séquences du bilan contrôle (bilan 1). On rejette l'hypothèse nulle, cette différence n'est pas due au hasard.

Lors d'un examen chez un sujet sain se comportant convenablement les IIP dans les premières séquences sont bas (1,5-2,5) et ils augmentent progressivement dans les dernières séquences de test (2,5-3,5). On peut observer cette évolution dans le graphique 1. La moyenne des IIP augmente de façon progressive en rapport avec la difficulté de la séquence de test. La difficulté des séquences augmente quand les entrées sensorielles sont perturbées, ou bien quand on provoque un conflit sensoriel (séquences C et F). Il est normal que le sujet sain présente une instabilité plus importante dans les dernières séquences du bilan contrôle.

Contrairement aux résultats obtenus dans la condition physiologique, les moyennes dans les bilans de déséquilibre volontaire montrent des scores très élevés dès la première séquence (+/-5). La variation entre le résultat obtenu dans la première séquence et le résultat obtenu dans la sixième séquence est faible (des résultats qui oscillent entre 5 et 5,70 pour tous les bilans sauf pour le bilan 1 et le 4). Les bilans avec des chutes réduisent l'IIP car le CdP cesse de se déplacer à ce moment. On observe un plateau pour les bilans 2 à 11, ce qui se traduit par une instabilité très importante dès le début de l'examen et qui se maintient jusqu'à la fin de celui-ci.

Ce résultat est en accord avec un des critères repris dans les études réalisées sur Equitest®, les sujets aphysiologiques obtiennent des résultats d'équilibre faibles dans les conditions de test faciles (Goebel, Sataloff et al, 1997 ; Hamid et al, 1991).

On observe un pic d'augmentation pour les moyennes d'IIP dans la séquence E dans quasi la totalité des bilans. À ce moment-là du test le sujet ne se sert que de son vestibule pour s'équilibrer. Cela expliquerait ce pic qui est perceptible même chez un sujet qui est entrain de frauder le test.

Les résultats statistiques de comparaison des moyennes pour l'IIP entre les séquences du bilan 4 et les séquences des bilans 2, 3, 5 à 11 mettent en évidence qu'il existe une augmentation hautement significative « p-valeurs<0,001 » des valeurs du bilan 4 par rapport aux valeurs des bilans de déséquilibre volontaire. On rejette l'hypothèse nulle, cette différence ne pouvant pas être due au hasard. Dans le bilan 4 l'instabilité du sujet est augmentée dû au fait qu'il oscille entre ses talons et ses orteils.

L'analyse de la variance à mesures répétées (ANOVA) avait pour but de vérifier si l'un des deux facteurs, c'est-à-dire : position de la plateforme, ou le type de vision, ou leur combinaison, avait une influence sur les résultats obtenus pour chacun des différents bilans. En effet, les résultats de ce test statistique nous indiquent que pour la plupart des bilans ces facteurs ont un effet significatif « p-valeur<0,05 ».

On voit dans le graphique 1 de l'annexe E, qu'il existe une tendance générale vers l'augmentation de l'instabilité au plus le conflit sensoriel est important (Il faut noter que ces graphiques ne sont pas tous à la même échelle). Par exemple dans le cas des bilans 1, 3, 5, 7, 8, 9 et 11 le fait de supprimer l'entrée somesthésique provoque une augmentation significative de l'IIP avec les yeux fermés ou avec la vision trompée ceci n'est pas toujours le cas avec les yeux ouvert (Bilans 5, 9 et 11).

Le facteur vision (yeux ouverts, fermés ou vision trompée), aurait une influence significative sur la variation de l'IIP pour les bilans 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 et 11. Quand le facteur vision est significatif, il n'y a pratiquement pas de différence dans la variation de l'IIP avec les yeux fermés ou la vision trompée.

La combinaison des deux facteurs a une influence significative sur la variation de ce paramètre pour les bilans 1, 3, 5, 8, 9, 10 et 11. Cette combinaison est uniquement significative lorsque les deux facteurs varient.

Le deuxième paramètre analysé est **la vitesse au point critique (VPC)**. Comme pour le premier paramètre, les résultats statistiques montrent une augmentation hautement significative « p-valeur < 0,001 » entre les valeurs des bilans 2 à 11 et les valeurs du bilan contrôle. On rejette l'hypothèse nulle, cette différence ne pouvant pas être due au hasard. On peut donc en déduire que ce paramètre augmente lorsque le sujet réalise des oscillations de façon volontaire, c'est donc un sujet instable.

Lorsqu'on observe le graphique 3, l'augmentation de la vitesse dans le bilan contrôle se fait de façon progressive en fonction de la difficulté de chaque séquence de test comme pour l'IIP. Quand le conflit sensoriel est plus important (séquence C et F) ce paramètre augmente. Dans les bilans 2 à 11 où le sujet se déséquilibre volontairement, dès le début on se trouve face à des vitesses importantes qui fluctuent entre 40 et 80 mm/s.

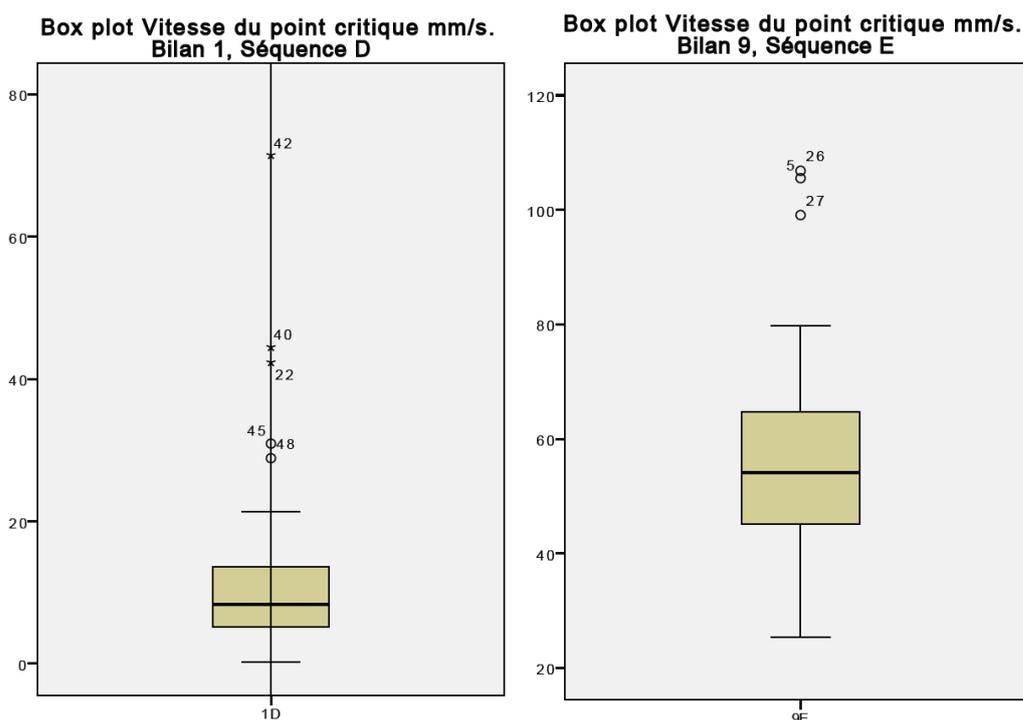
L'analyse statistique montre qu'il existe aussi une augmentation hautement significative « p-valeur < 0,001 » entre les vitesses du bilan 4 et les vitesses des bilans 2, 3 et 5 à 11. On rejette l'hypothèse nulle, cette différence ne pouvant pas être due au hasard. Le graphique 3 est représentatif de cette augmentation, ces résultats nous montrent que les sujets qui se déséquilibrent en utilisant une oscillation entre les orteils et les talons sont donc plus instables. On remarque également un pic d'augmentation plus importante pour la séquence C. Le flux optocinétique provoque une augmentation de l'instabilité et donc ceci se traduit par une augmentation de la vitesse au point critique.

La vitesse au point critique représente la vitesse maximale que le système d'équilibration peut maîtriser sans tomber. Par exemple certains jeunes sont capables de laisser aller plus loin le déséquilibre avant de le rattraper (entraînement sportif). Dans le cas du sujet pathologique, les centres supérieurs perçoivent le déséquilibre plus tard par manque d'information, par conséquent la vitesse est augmentée au moment de la correction apportée par le système nerveux central (SNC). Dans le cas du sujet fraudeur le SNC est normalement informé du déséquilibre, mais il le laisse aller plus loin et il le rattrape plus tard mais de façon volontaire. Par conséquent la vitesse du sujet aphysiologique est plus élevée, mais sous contrôle (pourcentage de points d'Hausdorff bas)

Les résultats obtenus pour ce paramètre présentent une dispersion importante, ils varient entre les différents bilans. Cette dispersion s'observe également pour chacune des séquences de test. Voici ces box plot pour les séquences D du bilan contrôle (Graphique

6) et la séquence E du bilan 9 (Graphique 7). On observe par exemple que pour la séquence D du bilan 1, il y a 5 données très dispersées. Pour la séquence E du bilan 9 on remarque 3 données qui, elles, sont aussi très écartées de la moyenne.

Ces variations sont difficiles à expliquer car on ne sait pas identifier leur origine. Ou bien des biais dû à l’outil de mesure ou bien des individus qui présentent réellement des valeurs très disperses. Pour cette même raison, une analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées n’a pas pu être réalisée pour ce paramètre.



Graphique 6 : Box plots

En conséquence il est assez difficile de pouvoir harmoniser ces résultats et d’établir des normes pour le comportement aphysiologique avec une telle dissemblance. Des études ultérieures devront déterminer si ce paramètre est réellement utile pour objectiver un tel pattern.

Le troisième paramètre étudié est **le pourcentage de points d’Hausdorff (PPH) dans le plan antéro-postérieur**. L’analyse statistique nous montre une diminution hautement significative « p-valeur < 0,001 » des valeurs dans les bilans en condition aphysiologique par rapport aux valeurs du bilan contrôle. On rejette l’hypothèse nulle, cette différence n’étant pas due au hasard. Ce résultat statistique nous indique que le sujet qui réalise un

déséquilibre volontaire, est une personne instable mais qui contrôle son instabilité. Le déplacement du CdP est peu lié au hasard (Frechard, 2008).

Si on observe le bilan 1, les valeurs des pourcentages sont plus importantes dans les premières séquences de test et diminuent progressivement en rapport avec la difficulté des séquences. Lorsque la plateforme est en statique, le sujet réalise une performance d'équilibration sans contrôle augmenté de son déplacement, le maintien de l'équilibre dans ces conditions n'est pas difficile. Contrairement, quand la plateforme est asservie, des valeurs moins importantes témoignent que le sujet doit d'avantage contrôler le déplacement de son CdP car les informations sensorielles sont moins efficaces.

On remarque un pic d'augmentation pour la séquence D du bilan 1. Celui-ci pourrait s'expliquer par la surprise que provoque la suppression de l'entrée somesthésique, le sujet est moins capable de contrôler le déplacement de son CdP à ce moment-là.

Le sujet fraudeur quant à lui, il présente dès le début du test un pourcentage bas de points d'Hausdorff. Dans le graphique 4, on peut apprécier que pour les bilans 2 à 11 il y a une tendance aux valeurs situés entre 0,5% et 1%. Ces valeurs sont relativement petites et nous permettent de dire que le sujet qui réalise un déséquilibre volontaire n'est pas seulement instable, mais que cette instabilité est contrôlée.

Le quatrième paramètre étudié est **le pourcentage des points d'Hausdorff (PPH) dans le plan médio-latérale**. L'analyse statistique montre qu'il y a une diminution significative «  $p$ -valeur $<0,05$  » entre les valeurs des bilans 2 à 11 et les valeurs du bilan 1 pour la majorité des mesures (55/60). On rejette l'hypothèse nulle, cette différence n'étant pas due au hasard. Comme pour le plan antéro-postérieur, cette diminution dans les conditions aphysiologique nous permet d'affirmer que les sujets qui réalisent un déséquilibre volontaire présentent une instabilité plus importante mais que celle-ci est contrôlée, car le déplacement du CdP est moins lié au hasard. Il faut noter également que la différence significative observée entre les valeurs du bilan 1 et les valeurs des bilans 2 à 11 est moins importante pour les séquences D, E, F.

Dans le plan médio-latéral on observe une augmentation significative «  $p$ -valeur $<0,05$  » des valeurs du bilan 4 par rapport aux valeurs des bilans 2, 3 et 5 à 11. On rejette l'hypothèse nulle, cette différence n'est pas due au hasard. Dans le graphique 5, on peut voir que pour les séquences D, E, F les valeurs du bilan 4 sont plus importantes que les valeurs du bilan 1.

Il faut noter que le pourcentage des points d'Hausdorff tant dans le plan antéro-postérieur que dans le plan médio-latérale, présente une grande dispersion dans les résultats obtenus. Cette dissemblance est en partie responsable de la difficulté à établir des normes bien définies pour ce paramètre et ce comportement.

De ce fait, l'indice d'instabilité posturale et la vitesse au point critique nous indiquent que le sujet aphysiologique présente une grande instabilité dès le début du test et que celle-ci ne varie pas fortement dans les différentes séquences. Des pourcentages des points d'Hausdorff bas, nous indiquent que le sujet contrôle de façon délibérée son déséquilibre.

### **Limitations de l'étude :**

Dans la première partie de l'étude, les auteurs ont cité un certain nombre de limitations. Cette étude n'a pas pris en compte le sexe, le poids et la taille des sujets. En effet, il serait intéressant de voir comment ces paramètres pourraient influencer le comportement d'un sujet sur plateforme Multitet®. Comme Dupierreux, A. et Gillet, A. (2016) l'ont précisé, il s'agit d'une première étude sur ce sujet et donc il était préférable d'analyser ce comportement d'une façon globale et d'aller à l'essentiel.

Une autre limitation de l'étude serait l'âge moyen de l'échantillon. Dans cette étude on s'est uniquement intéressé aux personnes âgées de 18 à 30 ans. Selon Gianoli, G. et al. (2000), les adultes jeunes (35-45 ans) présentent une tendance plus importante à frauder lors d'un examen, en vue d'obtenir un bénéfice secondaire à un état pathologique, par rapport à des personnes plus âgées (55-65 ans) qui seraient réellement malades. Cependant cela ne veut pas dire qu'il ne faudrait pas analyser le comportement de personnes d'autres catégories d'âge sous le même protocole expérimental. Une personne âgée ou un enfant sont eux aussi sujets à réaliser une performance malhonnête sur plateforme en vue d'obtenir un bénéfice secondaire. Il faudrait en effet dans un futur, poursuivre les études et établir des normes pour chaque tranche d'âge.

Une des limitations que les mémorants de 2016 et moi-même avons observé, est le choix des stratégies. Dans notre protocole nous avons uniquement analysé les stratégies de rééquilibration de cheville et de hanche. Celles-ci se sont les plus utilisées dans le cas d'un déséquilibre, décrites par Nasher (1985). En effet ces deux stratégies ne sont pas les seules selon la littérature. Bruyneel AV et al, (2013) ont étudié la stratégie de genou sur plateforme dynamique motorisée. Il serait nécessaire dans des futures études, de voir

si ces différentes stratégies sont utilisées par les sujets aphysiologique et pouvoir cibler de plus en plus ce comportement.

La durée et les conditions de l'expérimentation ont sûrement influencé les résultats obtenus. Le sujet passait à peu près 1h 30min debout sur la plateforme, ce qui paraissait long pour la plupart d'entre eux. En général les volontaires commençaient à fatiguer au bout de 1h de test, mais la majorité d'entre eux préféraient ne pas faire de pause. J'ai noté qu'une grande partie des volontaires, présentaient une accoutumance aux enchainements des bilans et un phénomène d'apprentissage. Cela se répercute sur une performance plus efficace dans les derniers bilans. Par exemple, on peut observer dans le graphique 2 que l'indice d'instabilité posturale est plus bas pour le bilan 11 que dans les autres bilans. Il aurait été préférable que le passage des bilans se fasse de façon aléatoire.

Il est important de souligner, que lors de la révision des résultats obtenus par le logiciel PosturoPro®, quelques données étaient vraisemblablement erronées (ex : des chiffres négatifs). Ces chiffres qui ne correspondaient pas aux résultats attendus ont été remplacés par leur moyenne respective (annexe D). Ces données ont pu en partie biaiser quelque peu mes résultats.

Il est compliqué d'identifier un sujet aphysiologique avec juste l'observation et l'analyse statistique de ces trois paramètres. Les valeurs sont souvent très dispersées et la distribution des échantillons ne se comporte pas toujours normalement. Il est possible d'établir une série de normes pour ces trois paramètres. Néanmoins les résultats obtenus au moyen de la posturographie dynamique computerisée (PDC) doivent être interprétés avec précaution. Il est indispensable pour l'expertise médicale, que le clinicien vestibulaire ait de l'expérience dans l'évaluation de son patient pour pouvoir identifier ces personnes (Rey-Martinez et al, 2007 ; Goebel et al, 1997).

## **5 Conclusion**

Après avoir analysé statistiquement les données issues du logiciel PosturoPro®, on peut confirmer que l'indice d'instabilité posturale et la vitesse au point critique augmentent de façon hautement significative lorsque le sujet réalise une performance aphysiologique. Quant aux pourcentages des points d'Hausdorff, ils diminuent de façon hautement significative dans le plan antéro-postérieur et de façon significative dans le

plan médio-latérale dans les conditions de déséquilibre volontaire. Par ailleurs l'analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées nous confirme que les entrées somesthésiques et visuelles, ainsi que leur combinaison influencent les résultats obtenus pour l'indice d'instabilité posturale.

Concernant le bilan 4, les résultats obtenus montrent une dissemblance avec les autres bilans de déséquilibre volontaire, probablement due aux oscillations en décollement plantaire qui conseillent de l'éliminer du protocole pour les analyses ultérieures.

Dans de futures études, il conviendrait d'analyser plus en détail l'origine de la dispersion de l'échantillon pour certains paramètres. Cette dispersion a pour résultat que ces échantillons ne remplissent pas la condition de non normalité, ce qui empêche l'application d'une analyse de la variance.

Une piste à explorer pour des études à venir serait de traiter comme facteurs de l'ANOVA les différentes stratégies de déséquilibre qui définissent chaque bilan, c'est-à-dire chute ou déséquilibre, antéro-postérieur ou médio-latérale en stratégie de cheville ou de hanche.

La confirmation des résultats obtenus par Dupierreux A et Gillet A, (2016) pourra aiguiller le clinicien vestibulaire dans le repérage d'un tel comportement ainsi que donner des idées pour de futures explorations à ce sujet.

Ce mémoire est parvenu à confirmer une tendance chez les sujets sains se comportant comme des sujets aphysiologiques ; néanmoins on ne peut pas en tirer des conclusions qui puissent caractériser de façon objective un tel pattern. Il faut noter que l'expérience du praticien est un élément inéluctable afin de distinguer un sujet fraudeur (Goebel et al, 1997)

Pour avancer dans cette voie, il conviendrait de comparer notre échantillon de sujets sains qui se comportent aphysiologiquement avec deux échantillons : l'un composé de sujets pathologiques et l'autre composé de sujets soupçonnés de réaliser une performance aphysiologique.

## 6 Bibliographie

1. Barge, L. (2007). *L'intérêt du Logiciel PosturoPro® pour le Masseuse-Kinésithérapeute dans sa pratique courante de la rééducation des instabilités et des vertiges* (Master's thesis). . Memoire DU, Université Claude Bernard, Lyon I.
2. Bruyneel AV et al, (2013). Équilibre sur plate-forme dynamique «motorisée»: influence du positionnement du pied sur le débattement angulaire de la cheville et du genou (plan sagittal). *Kinésithérapie, la Revue. Volume 13, Issue 133, January 2013, Pages 38–44.*
3. Burgio, C. (2013). *Intérêt de la double tâche dans la rééducation vestibulaire chez le sujet pathologique* (Master's thesis). Mémoire du DU, Université Claude Bernard, Lyon.
4. Cevette MJ, et al (1995). Aphysiologic performance on dynamic posturography. *Otolaryngol Head Neck Surg* 112:676-688.
5. Collins, J. J., Luca, C. J., Burrows, A., & Lipsitz, L. A. (1995). Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research*, 104(3), 480-492. doi:10.1007/bf00231982
6. Dumitrescu, M., Lacour, M. (2006). Nouveaux critères quantitatifs d'analyse du contrôle posural: Illustrations en pathologie et chez la personne âgée. In: *Lacour, M. (Ed), Collection « Postural et Equilibre », solal, Marseille*, pp 65-75.
7. Dupierreux, A et Gillet, A. (2016). *Analyse posturographique de sujets sains réalisant un déséquilibre volontaire à l'aide de nouveaux paramètres calculés par le logiciel Posturo-Pro®* (Master's thesis). Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
8. Framiral® (2006). Intérêts du Logiciel PosturoPro® en Exploration et Rééducation des Troubles de l'équilibre.
9. Framiral® (2015). Manuel utilisateur Framiral Multitest.
10. Frechard (2008). *Approche des valeurs normatives du logiciel posturoPro® Sur plate forme statique* (Master's thesis). Memoire DU, Université Claude Bernard, Lyon I.
11. Gagey, PM. Weber, B. (2000) Posturology: regulation and disorders of orthostatic position.
12. Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489. <http://doi.org/10.5812/ijem.3505>
13. Gianoli, G., et al. (2000). Posturographic performance in patients with the potential for secondary gain. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 122(1): 11-18.

14. Goebel, J. A., et al. (1997). Posturographic evidence of nonorganic sway patterns in normal subjects, patients, and suspected malingerers. *Otolaryngol Head Neck Surg* 117(4): 293-302.
15. Gorke (2010). *Approche des valeurs normatives du logiciel Posturo-Pro® sur la plateforme dynamique* (Master's thesis). Diplôme d'Université, Université Claude Bernard, Lyon.
16. Hamid, M. A., Hughes, G. B., & Kinney, S. E. (1991). Specificity and Sensitivity of Dynamic Posturography: A Retrospective Analysis. *Acta Otolaryngologica*, 111(Sup481), 596-600. doi:10.3109/00016489109131480
17. Rey-Martínez, J., Rama-López, J., & Pérez-Fernández, N. (2007). Posturographic Examination of Malingering Patients. *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*, 58(5), 202-207. doi:10.1016/s2173-5735(07)70335-6
18. Larrosa, F., Durà, M. J., Menacho, J., González-Sabaté, L., Cordon, A., Hernández, A., & García-Ibáñez, L. (2013). Aphysiologic performance on dynamic posturography in work-related patients. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 270(1), 93-97. doi:10.1007/s00405-012-1930-x
19. Lisbonis, JM. Zeitoun, A. (2011). Rééducation des vertiges et des instabilités et troubles de l'équilibre.
20. Magnin, P. (2008). *Le logiciel Posturo-Pro et ses ondelettes.... Utilisation au quotidien en cabinet de kinésithérapie* (Master's thesis). Mémoire DU, Université Claude Bernard, Lyon.
21. Mallinson, A. and N. Longridge (2008). Differentiating real from aphysiologic balance control using computerized dynamic posturography. *Neurocom publication*.
22. Manceau, C. et Lorin, P. (2008). *Nouveaux paramètres stabilométriques distinguant les patients aréflexiques vestibulaires unilatéraux des sujets sains* (Master's thesis). Mémoire DU, Université Claude Bernard, Lyon I.
23. Martin, B. (2010). Une plate-forme statique et dynamique dans les trois plans de l'espace. *Kiné actualité*, 1189, Avril 2010.
24. Michelet, A. D'andrea, F. (2012) *Traitements des pathologies du système vestibulaire : une revue systématique et méta-analyse* (Master's thesis). Mémoire de bachelor : Haute Ecole de Santé Valais, Valais, Suisse.
25. Morgan, S. S., Beck, W. G., & Dobie, R. A. (2002). Can Posturography Identify Informed Malingerers ? *Otology & Neurotology*, 23(2), 214-217. doi:10.1097/00129492-200203000-00018.
26. Nashner, L. M., & Mccollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 8(01), 135. doi:10.1017/s0140525x00020008
27. Nyabenda, A., Briart, C., Deggouj, N., & Gersdorff, M. (2004). Étude normative et de la reproductibilité d'une échelle du handicap lié aux troubles de l'équilibre

- et aux vertiges. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 47(3), 105-113. doi:10.1016/j.annrmp.2003.11.002
28. Purves, D., McNamara, J.O., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall, W.C., Lamantia, A.-S., White, L.E., Coquery, J.-M., (2011). *Neurosciences et Sylvius 4: Le système nerveux humain*, Édition : 4e édition. ed. De Boeck, Bruxelles.
  29. Sauvageot, M. (2009). *Les yeux ouverts ou les yeux fermés dans l'obscurité : Quelle incidence sur la posturographie dynamique? Analyse par Multitest et Posturo-Pro* (Master's thesis). Memoire DU, Université Claude Bernard, Lyon I.
  30. Sornay, Y. (2002). *Correlation Equitest-Multitest* (Master's thesis). Memoire DU, Université Claude Bernard, Lyon I.
  31. Yardley, L., et al. (1998). Prevalence and presentation of dizziness in a general practice community sample of working age people. *British Journal of General Practice*, 48(429), 1131-1135.

## 7 Annexes

### Annexe A. Rappels théoriques

#### 1. Le système d'équilibration.

L'équilibre est un système complexe composé de récepteurs et d'effecteurs. C'est par des voies afférentes que les informations sont transmises depuis les récepteurs jusqu'au système nerveux central. Les centres supérieurs organisent et envoient une réponse via les voies efférentes vers les effecteurs. Ce sont s'est derniers qui réorganisent la posture et le regard pour restaurer l'équilibre. ([www.vestib.org](http://www.vestib.org))

##### 1.1. Les récepteurs

Il existe trois types différents de systèmes récepteurs : La vision, la somesthésie, et l'oreille interne (Lisbonis, JM. et al. 2011).

- **La vue** nous permet essentiellement de nous repérer dans l'espace extérieur, fixe ou mobile. Grâce aux images qui se forment dans la rétine, on est capable d'identifier les différents objets qui nous entourent.
- **La proprioception** se charge de nous informer de la position des différents segments du corps. Ces récepteurs se trouvent dans les ligaments, les muscles, les articulations.
- **L'appareil vestibulaire**, situé dans l'oreille interne est l'organe chargé de fournir l'information d'équilibration au SNC. Le vestibule est formé par le labyrinthe postérieur, par le nerf acoustique VIII (composante vestibulaire) et par les connexions effectrices des noyaux vestibulaires (Lisbonis JM et al, 2011).

Dans le labyrinthe postérieur on retrouve deux types de récepteurs différents. D'une part les canaux semi-circulaires, au nombre de trois (antérieur, postérieur et latéral), sensibles aux accélérations angulaires de la tête dans les trois plans de l'espace. D'autre part les organes otolithiques formés par l'utricule et le saccule. L'utricule est l'organe sensible aux accélérations linéaires horizontales et le saccule est l'organe sensible aux accélérations linéaires verticales (Michelet A et D'Andrea F, 2012).

##### 1.2. Les effecteurs

Les afférences des 3 systèmes de récepteurs convergent dans les noyaux vestibulaires qui eux se chargent d'organiser une réponse vers les centres effecteurs. Le réflexe vestibulo-oculaire vers les muscles oculomoteurs et le réflexe vestibulo-spinal vers les muscles antigravitaires (Purves et al, 2011).

- Les muscles oculomoteurs : Permettent l'orientation spatiale et la stabilisation du regard par un mouvement conjugué, organisé et spécifique des yeux.
- Les muscles antigravitaires : Leur rôle est le maintien postural du cou, du tronc et des membres. C'est la balance de co-contractions entre les agonistes et les antagonistes qui assure notre contrôle postural.

## 2. Stratégies d'équilibration

L'homme debout est toujours en oscillation continue. Lorsqu'il subit une force extérieure importante, le centre de gravité se déplace dans la base de sustentation et entraîne les réactions de réajustement postural. Deux stratégies d'équilibration ont été répertoriées : la stratégie de cheville et la stratégie de hanche.

- La stratégie de cheville : lorsque les contractions musculaires débutent dans la partie distale de la jambe et gagne les muscles proximaux. L'axe de mobilité du corps est la cheville, cette stratégie est utilisée pour réajuster des petites oscillations (Nashner L.M., Mc Collum G., 1985).

- La stratégie de hanche : Lorsque les contractions musculaires débutent au niveau des muscles proximaux de la hanche et progressivement gagnent les muscles plus distaux. L'axe de mobilité du corps est la hanche. Cette stratégie est utilisée pour réajuster des grands déplacements du centre de gravité (Gagey, PM, et al 2012).

## Annexe B. Questionnaire pré-expérimentaux

### Questionnaire 1

#### Questionnaire

1. Souffrez-vous d'affection(s) rhumatismale(s) ? oui / non  
Si oui, expliquez : .....
2. Souffrez-vous d'affection ortho-traumatique d'un ou des membres inférieurs dont la guérison remonte à moins d'un an ? oui / non  
Si oui, expliquez : .....
3. Souffrez-vous d'affection orthopédique ? oui / non  
Si oui, expliquez : .....
4. Souffrez-vous d'affection neurologique et plus particulièrement d'épilepsie ? OUI / NON  
Si oui, expliquez : .....
5. Souffrez-vous de troubles de la sensibilité profonde ? OUI / NON  
Si oui, expliquez : .....
6. Prenez-vous des médicaments ? OUI / NON  
Si oui, lesquels : .....
7. Avez-vous bu une ou plusieurs boissons alcoolisées dans les dernières 12 heures ? OUI / NON

## Questionnaire 2

Questionnaire sous forme d'échelle EHTEV « Échelle du Handicap liée aux Troubles de l'Équilibre et aux Vertiges » (Nyabenda, A. Briart, C. 2004). Ce questionnaire est une version française du DHI.

## DIZZINESS HANDICAP INVENTORY (Français)

	Oui	Parfois	Non
1P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous regardez vers le haut?			
2E. Vous sentez-vous frustré(e) par votre problème?			
3F. À cause de votre problème, limitez-vous vos voyages pour votre travail ou vos vacances?			
4P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous marchez dans l'allée au supermarché?			
5F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous coucher ou à vous relever du lit?			
6F. Est-ce que votre problème vous oblige à limiter sérieusement votre participation à des activités sociales, comme des sorties au restaurant ou au cinéma, des soirées de danse ou des "partys"?			
7F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à lire?			
8P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous entreprenez des activités relativement ambitieuses comme les sports, la danse, ou des tâches ménagères comme balayer ou ranger la vaisselle?			
9E. À cause de votre problème, avez-vous peur de sortir de chez vous sans être accompagné(e)?			
10E. À cause de votre problème, vous êtes-vous déjà trouvé(e) dans une situation embarrassante en présence d'autres personnes?			
11P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous bougez rapidement la tête?			
12F. Évitez-vous les hauteurs à cause de votre problème?			
13P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous vous tournez dans votre lit?			
14F. À cause de votre problème, est-ce que vous trouvez difficile de faire des travaux d'entretien dans la maison ou sur votre terrain?			
15E. À cause de votre problème, avez-vous peur que les gens pensent que vous avez consommé de l'alcool ou de la drogue?			
16F. À cause de votre problème, trouvez-vous difficile d'aller faire une marche seul(e)?			
17P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous marchez sur le trottoir?			
18E. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous concentrer?			
19F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à marcher dans la maison dans l'obscurité?			
20E. À cause de votre problème, avez-vous peur de rester seul(e) à la maison?			
21E. Vous sentez-vous handicapé(e) à cause de votre problème?			
22E. Est-ce que votre problème rend plus difficiles vos relations avec votre famille ou vos amis?			
23E. Êtes-vous déprimé(e) à cause de votre problème?			
24F. Est-ce que votre problème nuit à votre travail ou à vos responsabilités familiales?			
25P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous vous penchez?			

## Annexe C. Formulaire de consentement

### **FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ECLAIRE AU PATIENT**

1. Je soussigné(e),

.....

déclare avoir lu l'information qui précède et accepter de participer à la recherche de paramètres permettant de distinguer un déséquilibre volontaire d'un déséquilibre pathologique au moyen de la plateforme de posturographie dynamique computerisée Multitest

.....

2. On m'a remis une copie de ce formulaire de consentement éclairé signé et daté, ainsi que de la note d'information destinée au patient. J'ai reçu une explication concernant la nature, le but, la durée de l'expérimentation et j'ai été informé(e) de ce qu'on attend de ma part. On m'a donné le temps et l'occasion de poser des questions sur l'expérimentation ; toutes mes questions ont reçu une réponse satisfaisante.
3. J'ai été informé(e) de l'existence d'une assurance.
4. Je sais que cette enquête a été soumise et approuvée par le Comité d'Ethique Biomédicale Hospitalo-Facultaire des Cliniques universitaires Saint-Luc.
5. Je suis libre de participer ou non, de même que d'arrêter l'expérimentation à tout moment sans qu'il soit nécessaire de justifier ma décision et sans que cela n'entraîne le moindre désavantage.
6. En signant ce document, j'autorise l'utilisation des données me concernant dans le respect de la loi belge du 8 décembre 1992 relative à la protection de la vie privée, de la loi du 22 août 2002 relative aux droits du patient et de la loi du 7 mai 2004 relative à l'expérimentation humaine.

7. Je consens de mon plein gré à participer à cette expérimentation.

*Signature du patient(e)*

*Date(jour/mois/année)*

Je, soussigné, Mme/Mlle/Mr ..... confirme que j'ai expliqué la nature, le but et la durée de l'expérimentation au patient(e) mentionné(e) ci-dessus.

*Signature de la personne qui procure l'information*

*Date (jour/mois/année)*

## Annexe D. Données corrigées

Les données suivantes ont été corrigées parce qu'ils ont été jugées erronées ou invraisemblables, si possible après la vérification des résultats produits par Multitest®.

Code du sujet	Paramètre*	Bilan	Séquence	Valeur originale	Correction appliquée
M04	AC	2	D	7,41	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M04	AC	2	E	7,04	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M04	AC	2	F	19,85	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M06	AC	6	D	3.549.029	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M10	tC	2	C	-0,46	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M10	AC	2	C	-409,62	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M16	tC	1	C	-1,61	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M16	AC	1	I	-238,22	Remplacée par la moyenne de 47 restants
M16	AC	9	F	744.704	Divisée par 100
M17	AC	2	A	719.902	Divisée par 100
LP15	tC	1	D	-0,16	Remplacée par la moyenne de 47 restants
LP15	AC	1	D	-2,30	Remplacée par la moyenne de 47 restants

\* AC ≡ Amplitude critique ; tC ≡ Temps critique

**Annexe E. Résultats statistiques**

Tableau E.01 Indice d'instabilité posturale. Test de normalité

Indice d'instabilité IIP. Tests de normalité							
Bilan Séquence	Shapiro-Wilk			Bilan Séquence	Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.		Statistiques	ddl	Sig.
1A	0,936	48	0,011	6D	0,958	48	0,080
1B	0,932	48	0,008	6E	0,927	48	0,005
1C	0,966	48	0,181	6F	0,990	48	0,950
1D	0,960	48	0,102	7A	0,986	48	0,824
1E	0,973	48	0,321	7B	0,964	48	0,140
1F	0,979	48	0,549	7C	0,975	48	0,376
2A	0,958	48	0,088	7D	0,982	48	0,650
2B	0,952	48	0,048	7E	0,977	48	0,473
2C	0,968	48	0,220	7F	0,969	48	0,236
2D	0,678	48	0,000	8A	0,964	48	0,144
2E	0,601	48	0,000	8B	0,988	48	0,900
2F	0,774	48	0,000	8C	0,975	48	0,379
3A	0,972	48	0,309	8D	0,968	48	0,213
3B	0,957	48	0,074	8E	0,968	48	0,212
3C	0,968	48	0,212	8F	0,971	48	0,272
3D	0,970	48	0,261	9A	0,977	48	0,461
3E	0,990	48	0,960	9B	0,988	48	0,908
3F	0,983	48	0,688	9C	0,968	48	0,212
4A	0,989	48	0,930	9D	0,969	48	0,238
4B	0,981	48	0,630	9E	0,951	48	0,046
4C	0,964	48	0,146	9F	0,972	48	0,307
4D	0,979	48	0,518	10A	0,980	48	0,596
4E	0,982	48	0,665	10B	0,991	48	0,969
4F	0,980	48	0,591	10C	0,993	48	0,991
5A	0,967	48	0,197	10D	0,985	48	0,790
5B	0,984	48	0,744	10E	0,981	48	0,612
5C	0,978	48	0,490	10F	0,959	48	0,094
5D	0,959	48	0,094	11A	0,993	48	0,991
5E	0,965	48	0,155	11B	0,968	48	0,202
5F	0,963	48	0,132	11C	0,947	48	0,032
6A	0,985	48	0,777	11D	0,934	48	0,009
6B	0,969	48	0,237	11E	0,976	48	0,433
6C	0,971	48	0,268	11F	0,967	48	0,197

Les résultats pour lesquels l'hypothèse de non-normalité a été retenue sont surlignés en couleur.

Tableau E.02 Vitesse du point critique. Test de normalité.

Vitesse du point critique vPC. Tests de normalité							
Bilan Séquence	Shapiro-Wilk			Bilan Séquence	Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.		Statistiques	ddl	Sig.
1A	0,485	48	0,000	6C	0,820	48	0,000
1B	0,956	48	0,069	6D	0,871	48	0,000
1C	0,536	48	0,000	6E	0,769	48	0,000
1D	0,699	48	0,000	6F	0,718	48	0,000
1E	0,881	48	0,000	7A	0,981	48	0,621
1F	0,704	48	0,000	7B	0,963	48	0,140
2A	0,945	48	0,026	7C	0,981	48	0,626
2B	0,920	48	0,003	7D	0,919	48	0,003
2C	0,894	48	0,000	7E	0,977	48	0,445
2D	0,961	48	0,110	7F	0,944	48	0,024
2E	0,945	48	0,026	8A	0,867	48	0,000
2F	0,944	48	0,023	8B	0,939	48	0,015
3A	0,979	48	0,522	8C	0,912	48	0,002
3B	0,980	48	0,593	8D	0,909	48	0,001
3C	0,971	48	0,278	8E	0,971	48	0,286
3D	0,959	48	0,091	8F	0,924	48	0,004
3E	0,968	48	0,214	9A	0,950	48	0,039
3F	0,964	48	0,147	9B	0,948	48	0,034
4A	0,977	48	0,465	9C	0,913	48	0,002
4B	0,969	48	0,241	9D	0,953	48	0,051
4C	0,957	48	0,076	9E	0,940	48	0,016
4D	0,959	48	0,093	9F	0,915	48	0,002
4E	0,975	48	0,394	10A	0,937	48	0,012
4F	0,934	48	0,010	10B	0,968	48	0,209
5A	0,984	48	0,739	10C	0,924	48	0,004
5B	0,971	48	0,265	10D	0,967	48	0,193
5C	0,981	48	0,616	10E	0,973	48	0,335
5D	0,955	48	0,065	10F	0,968	48	0,209
5E	0,958	48	0,086	11A	0,935	48	0,011
5F	0,934	48	0,009	11B	0,948	48	0,032
6A	0,910	48	0,001	11C	0,945	48	0,026
6B	0,859	48	0,000	11D	0,908	48	0,001
6C	0,820	48	0,000	11E	0,964	48	0,152
6D	0,871	48	0,000	11F	0,933	48	0,009

Les résultats pour lesquels l'hypothèse de non-normalité a été retenue sont surlignés en couleur.

Tableau E.03 Points d'Hausdorff sur le plan antéro-postérieur. Test de normalité.

Points d'Hausdorff sur le plan antéro-postérieur (%) .Tests de normalité							
Bilan Séquence	Shapiro-Wilk			Bilan Séquence	Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.		Statistiques	ddl	Sig.
1A	0,643	48	0,000	6D	0,839	48	0,000
1B	0,632	48	0,000	6E	0,887	48	0,000
1C	0,624	48	0,000	6F	0,864	48	0,000
1D	0,236	48	0,000	7A	0,871	48	0,000
1E	0,941	48	0,018	7B	0,943	48	0,021
1F	0,740	48	0,000	7C	0,824	48	0,000
2A	0,887	48	0,000	7D	0,839	48	0,000
2B	0,837	48	0,000	7E	0,911	48	0,002
2C	0,867	48	0,000	7F	0,866	48	0,000
2D	0,793	48	0,000	8A	0,822	48	0,000
2E	0,780	48	0,000	8B	0,835	48	0,000
2F	0,877	48	0,000	8C	0,826	48	0,000
3A	0,561	48	0,000	8D	0,886	48	0,000
3B	0,789	48	0,000	8E	0,907	48	0,001
3C	0,758	48	0,000	8F	0,947	48	0,029
3D	0,870	48	0,000	9A	0,845	48	0,000
3E	0,926	48	0,005	9B	0,862	48	0,000
3F	0,848	48	0,000	9C	0,900	48	0,001
4A	0,813	48	0,000	9D	0,866	48	0,000
4B	0,777	48	0,000	9E	0,915	48	0,002
4C	0,774	48	0,000	9F	0,850	48	0,000
4D	0,776	48	0,000	10A	0,758	48	0,000
4E	0,964	48	0,146	10B	0,773	48	0,000
4F	0,897	48	0,001	10C	0,735	48	0,000
5A	0,863	48	0,000	10D	0,904	48	0,001
5B	0,900	48	0,001	10E	0,946	48	0,027
5C	0,930	48	0,007	10F	0,905	48	0,001
5D	0,850	48	0,000	11A	0,896	48	0,000
5E	0,930	48	0,007	11B	0,838	48	0,000
5F	0,933	48	0,009	11C	0,933	48	0,009
6A	0,831	48	0,000	11D	0,904	48	0,001
6B	0,748	48	0,000	11E	0,934	48	0,010
6C	0,838	48	0,000	11F	0,965	48	0,160

Les résultats pour lesquels l'hypothèse de non-normalité a été retenue sont surlignés en couleur.

Tableau E.04 Points d'Hausdorff sur le plan médio-latéral. Test de normalité.

Points d'Hausdorff sur le plan médio-latéral (%). Tests de normalité							
Bilan Séquence	Shapiro-Wilk			Bilan Séquence	Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.		Statistiques	ddl	Sig.
1A	0,734	48	0,000	6D	0,959	48	0,092
1B	0,579	48	0,000	6E	0,918	48	0,002
1C	0,920	48	0,003	6F	0,860	48	0,000
1D	0,802	48	0,000	7A	0,928	48	0,006
1E	0,927	48	0,005	7B	0,852	48	0,000
1F	0,812	48	0,000	7C	0,839	48	0,000
2A	0,808	48	0,000	7D	0,794	48	0,000
2B	0,764	48	0,000	7E	0,738	48	0,000
2C	0,833	48	0,000	7F	0,717	48	0,000
2D	0,460	48	0,000	8A	0,861	48	0,000
2E	0,353	48	0,000	8B	0,940	48	0,016
2F	0,450	48	0,000	8C	0,952	48	0,048
3A	0,889	48	0,000	8D	0,923	48	0,004
3B	0,934	48	0,010	8E	0,869	48	0,000
3C	0,905	48	0,001	8F	0,853	48	0,000
3D	0,636	48	0,000	9A	0,742	48	0,000
3E	0,931	48	0,007	9B	0,700	48	0,000
3F	0,867	48	0,000	9C	0,797	48	0,000
4A	0,980	48	0,586	9D	0,861	48	0,000
4B	0,943	48	0,021	9E	0,941	48	0,017
4C	0,904	48	0,001	9F	0,868	48	0,000
4D	0,899	48	0,001	10A	0,838	48	0,000
4E	0,958	48	0,087	10B	0,836	48	0,000
4F	0,961	48	0,106	10C	0,977	48	0,447
5A	0,607	48	0,000	10D	0,946	48	0,027
5B	0,664	48	0,000	10E	0,955	48	0,066
5C	0,686	48	0,000	10F	0,968	48	0,209
5D	0,785	48	0,000	11A	0,941	48	0,018
5E	0,861	48	0,000	11B	0,845	48	0,000
5F	0,844	48	0,000	11C	0,760	48	0,000
6A	0,927	48	0,005	11D	0,732	48	0,000
6B	0,909	48	0,001	11E	0,908	48	0,001
6C	0,957	48	0,078	11F	0,933	48	0,008

Les résultats pour lesquels l'hypothèse de non-normalité a été retenue sont surlignés en couleur.

Tableau E.05 Comparaison de moyennes du bilan 1 avec les bilans 2 à 11. Indice d'instabilité posturale

**Indice d'instabilité posturale. Test des échantillons appariés**

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	1A - 2A	-3,490	0,943	0,136	-3,764	-3,216	-25,630	47	0,000
Paire 2	1B - 2B	-3,623	0,690	0,100	-3,823	-3,422	-36,391	47	0,000
Paire 3	1C - 2C	-3,210	0,736	0,106	-3,424	-2,996	-30,230	47	0,000
Paire 4	1D - 2D	-2,670	1,093	0,158	-2,987	-2,353	-16,932	47	0,000
Paire 5	1E - 2E	-1,855	1,000	0,144	-2,146	-1,565	-12,847	47	0,000
Paire 6	1F - 2F	-1,875	1,078	0,156	-2,188	-1,562	-12,050	47	0,000
Paire 7	1A - 3A	-3,594	0,774	0,112	-3,818	-3,369	-32,182	47	0,000
Paire 8	1B - 3B	-3,619	0,550	0,079	-3,779	-3,460	-45,627	47	0,000
Paire 9	1C - 3C	-3,211	0,756	0,109	-3,430	-2,991	-29,438	47	0,000
Paire 10	1D - 3D	-2,763	0,969	0,140	-3,044	-2,481	-19,745	47	0,000
Paire 11	1E - 3E	-1,821	0,696	0,100	-2,023	-1,619	-18,133	47	0,000
Paire 12	1F - 3F	-1,878	0,992	0,143	-2,166	-1,590	-13,111	47	0,000
Paire 13	1A - 4A	-4,387	0,802	0,116	-4,620	-4,155	-37,916	47	0,000
Paire 14	1B - 4B	-4,325	0,544	0,079	-4,483	-4,167	-55,090	47	0,000
Paire 15	1C - 4C	-3,956	0,819	0,118	-4,194	-3,719	-33,482	47	0,000
Paire 16	1D - 4D	-3,420	0,976	0,141	-3,703	-3,136	-24,280	47	0,000
Paire 17	1E - 4E	-2,421	0,795	0,115	-2,652	-2,191	-21,101	47	0,000
Paire 18	1F - 4F	-2,395	1,105	0,159	-2,716	-2,074	-15,019	47	0,000
Paire 19	1A - 5A	-3,460	0,728	0,105	-3,672	-3,249	-32,941	47	0,000
Paire 20	1B - 5B	-3,424	0,527	0,076	-3,577	-3,271	-45,016	47	0,000
Paire 21	1C - 5C	-3,048	0,736	0,106	-3,261	-2,834	-28,702	47	0,000
Paire 22	1D - 5D	-2,533	0,979	0,141	-2,817	-2,249	-17,929	47	0,000
Paire 23	1E - 5E	-1,598	0,822	0,119	-1,837	-1,360	-13,476	47	0,000
Paire 24	1F - 5F	-1,650	1,113	0,161	-1,973	-1,327	-10,272	47	0,000
Paire 25	1A - 6A	-3,845	0,732	0,106	-4,058	-3,633	-36,407	47	0,000
Paire 26	1B - 6B	-3,850	0,585	0,084	-4,020	-3,680	-45,574	47	0,000
Paire 27	1C - 6C	-3,373	0,864	0,125	-3,623	-3,122	-27,042	47	0,000
Paire 28	1D - 6D	-2,946	0,936	0,135	-3,218	-2,674	-21,809	47	0,000
Paire 29	1E - 6E	-1,887	0,849	0,123	-2,134	-1,641	-15,397	47	0,000
Paire 30	1F - 6F	-1,815	1,122	0,162	-2,141	-1,489	-11,204	47	0,000
Paire 31	1A - 7A	-3,244	0,749	0,108	-3,461	-3,026	-30,000	47	0,000
Paire 32	1B - 7B	-3,291	0,597	0,086	-3,464	-3,117	-38,162	47	0,000

## Indice d'instabilité posturale. Test des échantillons appariés

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 33	1C - 7C	-2,858	0,855	0,123	-3,107	-2,610	-23,162	47	0,000
Paire 34	1D - 7D	-2,400	0,926	0,134	-2,669	-2,131	-17,960	47	0,000
Paire 35	1E - 7E	-1,454	0,829	0,120	-1,695	-1,213	-12,147	47	0,000
Paire 36	1F - 7F	-1,413	1,052	0,152	-1,719	-1,108	-9,306	47	0,000
Paire 37	1A - 8A	-3,316	0,902	0,130	-3,578	-3,054	-25,476	47	0,000
Paire 38	1B - 8B	-3,311	0,595	0,086	-3,484	-3,138	-38,562	47	0,000
Paire 39	1C - 8C	-2,911	0,755	0,109	-3,130	-2,692	-26,724	47	0,000
Paire 40	1D - 8D	-2,444	0,975	0,141	-2,728	-2,161	-17,365	47	0,000
Paire 41	1E - 8E	-1,629	0,700	0,101	-1,833	-1,426	-16,128	47	0,000
Paire 42	1F - 8F	-1,568	0,938	0,135	-1,840	-1,295	-11,577	47	0,000
Paire 43	1A - 9A	-3,254	0,807	0,116	-3,488	-3,019	-27,929	47	0,000
Paire 44	1B - 9B	-3,174	0,675	0,097	-3,370	-2,978	-32,557	47	0,000
Paire 45	1C - 9C	-2,769	0,812	0,117	-3,004	-2,533	-23,633	47	0,000
Paire 46	1D - 9D	-2,315	0,912	0,132	-2,580	-2,050	-17,580	47	0,000
Paire 47	1E - 9E	-1,563	0,696	0,101	-1,766	-1,361	-15,551	47	0,000
Paire 48	1F - 9F	-1,517	1,025	0,148	-1,815	-1,220	-10,256	47	0,000
Paire 49	1A - 10A	-3,800	0,828	0,120	-4,040	-3,559	-31,793	47	0,000
Paire 50	1B - 10B	-3,794	0,667	0,096	-3,988	-3,601	-39,392	47	0,000
Paire 51	1C - 10C	-3,302	0,857	0,124	-3,550	-3,053	-26,695	47	0,000
Paire 52	1D - 10D	-2,815	0,967	0,140	-3,095	-2,534	-20,177	47	0,000
Paire 53	1E - 10E	-1,761	0,804	0,116	-1,995	-1,528	-15,170	47	0,000
Paire 54	1F - 10F	-1,737	1,029	0,148	-2,035	-1,438	-11,696	47	0,000
Paire 55	1A - 11A	-3,277	0,646	0,093	-3,465	-3,090	-35,169	47	0,000
Paire 56	1B - 11B	-3,270	0,571	0,082	-3,436	-3,104	-39,651	47	0,000
Paire 57	1C - 11C	-2,810	0,807	0,117	-3,045	-2,576	-24,114	47	0,000
Paire 58	1D - 11D	-2,339	0,940	0,136	-2,612	-2,066	-17,233	47	0,000
Paire 59	1E - 11E	-1,427	0,740	0,107	-1,642	-1,212	-13,358	47	0,000
Paire 60	1F - 11F	-1,387	1,063	0,153	-1,695	-1,078	-9,041	47	0,000

N.B. La signification des paires pour lesquels l'hypothèse de distribution normale a été retenue pour les deux mesures est surligné en couleur verte

Tableau E.06 Comparaison de moyennes du bilan 1 avec les bilans 2 à 11. Vitesse du point critique.

**Vitesse du point critique. Test des échantillons appariés**

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	1A - 2A	-57,114	35,020	5,055	-67,282	-46,945	-11,299	47	0,000
Paire 2	1B - 2B	-61,619	37,878	5,467	-72,618	-50,620	-11,270	47	0,000
Paire 3	1C - 2C	-61,723	39,689	5,729	-73,247	-50,198	-10,774	47	0,000
Paire 4	1D - 2D	-54,521	30,385	4,386	-63,344	-45,698	-12,431	47	0,000
Paire 5	1E - 2E	-47,146	28,847	4,164	-55,523	-38,770	-11,323	47	0,000
Paire 6	1F - 2F	-54,692	37,137	5,360	-65,476	-43,908	-10,203	47	0,000
Paire 7	1A - 3A	-62,842	26,474	3,821	-70,530	-55,155	-16,446	47	0,000
Paire 8	1B - 3B	-62,987	25,063	3,618	-70,264	-55,709	-17,411	47	0,000
Paire 9	1C - 3C	-66,471	30,158	4,353	-75,228	-57,714	-15,270	47	0,000
Paire 10	1D - 3D	-55,206	30,270	4,369	-63,995	-46,416	-12,636	47	0,000
Paire 11	1E - 3E	-45,532	28,317	4,087	-53,754	-37,309	-11,140	47	0,000
Paire 12	1F - 3F	-52,498	27,000	3,897	-60,338	-44,658	-13,471	47	0,000
Paire 13	1A - 4A	-110,082	46,176	6,665	-123,490	-96,674	-16,517	47	0,000
Paire 14	1B - 4B	-103,613	40,913	5,905	-115,493	-91,733	-17,546	47	0,000
Paire 15	1C - 4C	-110,413	45,667	6,591	-123,674	-97,153	-16,751	47	0,000
Paire 16	1D - 4D	-86,172	43,559	6,287	-98,820	-73,524	-13,706	47	0,000
Paire 17	1E - 4E	-62,511	32,584	4,703	-71,972	-53,049	-13,291	47	0,000
Paire 18	1F - 4F	-68,729	37,272	5,380	-79,551	-57,906	-12,776	47	0,000
Paire 19	1A - 5A	-69,122	23,980	3,461	-76,086	-62,159	-19,970	47	0,000
Paire 20	1B - 5B	-68,235	24,831	3,584	-75,445	-61,025	-19,039	47	0,000
Paire 21	1C - 5C	-70,929	24,346	3,514	-77,999	-63,860	-20,185	47	0,000
Paire 22	1D - 5D	-54,150	25,277	3,648	-61,490	-46,810	-14,842	47	0,000
Paire 23	1E - 5E	-44,332	27,022	3,900	-52,178	-36,486	-11,367	47	0,000
Paire 24	1F - 5F	-50,636	31,759	4,584	-59,858	-41,414	-11,046	47	0,000
Paire 25	1A - 6A	-39,603	13,474	1,945	-43,516	-35,691	-20,363	47	0,000
Paire 26	1B - 6B	-40,018	15,127	2,183	-44,410	-35,625	-18,328	47	0,000
Paire 27	1C - 6C	-38,978	17,546	2,533	-44,073	-33,884	-15,391	47	0,000
Paire 28	1D - 6D	-30,536	22,524	3,251	-37,076	-23,996	-9,393	47	0,000
Paire 29	1E - 6E	-21,900	21,152	3,053	-28,042	-15,758	-7,173	47	0,000
Paire 30	1F - 6F	-23,555	25,211	3,639	-30,875	-16,234	-6,473	47	0,000
Paire 31	1A - 7A	-29,062	12,441	1,796	-32,675	-25,450	-16,184	47	0,000
Paire 32	1B - 7B	-30,575	10,114	1,460	-33,512	-27,638	-20,944	47	0,000
Paire 33	1C - 7C	-30,042	11,946	1,724	-33,510	-26,573	-17,423	47	0,000

## Vitesse du point critique. Test des échantillons appariés

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 34	1D - 7D	-20,365	17,134	2,473	-25,341	-15,390	-8,235	47	0,000
Paire 35	1E - 7E	-13,992	16,004	2,310	-18,639	-9,345	-6,057	47	0,000
Paire 36	1F - 7F	-15,673	19,595	2,828	-21,363	-9,983	-5,541	47	0,000
Paire 37	1A - 8A	-43,505	25,176	3,634	-50,816	-36,195	-11,972	47	0,000
Paire 38	1B - 8B	-42,514	19,945	2,879	-48,306	-36,723	-14,768	47	0,000
Paire 39	1C - 8C	-44,081	24,520	3,539	-51,201	-36,961	-12,455	47	0,000
Paire 40	1D - 8D	-34,463	25,823	3,727	-41,962	-26,965	-9,246	47	0,000
Paire 41	1E - 8E	-24,789	24,368	3,517	-31,865	-17,714	-7,048	47	0,000
Paire 42	1F - 8F	-28,379	25,163	3,632	-35,686	-21,072	-7,814	47	0,000
Paire 43	1A - 9A	-55,881	25,303	3,652	-63,228	-48,534	-15,301	47	0,000
Paire 44	1B - 9B	-53,303	24,721	3,568	-60,481	-46,124	-14,938	47	0,000
Paire 45	1C - 9C	-52,887	27,870	4,023	-60,980	-44,795	-13,147	47	0,000
Paire 46	1D - 9D	-43,947	22,678	3,273	-50,532	-37,362	-13,426	47	0,000
Paire 47	1E - 9E	-34,794	21,301	3,075	-40,979	-28,609	-11,317	47	0,000
Paire 48	1F - 9F	-37,925	26,404	3,811	-45,592	-30,258	-9,951	47	0,000
Paire 49	1A - 10A	-35,459	18,138	2,618	-40,725	-30,192	-13,544	47	0,000
Paire 50	1B - 10B	-38,453	15,605	2,252	-42,984	-33,922	-17,072	47	0,000
Paire 51	1C - 10C	-35,861	18,574	2,681	-41,254	-30,467	-13,376	47	0,000
Paire 52	1D - 10D	-27,111	19,115	2,759	-32,661	-21,561	-9,826	47	0,000
Paire 53	1E - 10E	-19,080	19,494	2,814	-24,741	-13,420	-6,781	47	0,000
Paire 54	1F - 10F	-19,283	18,425	2,659	-24,633	-13,932	-7,251	47	0,000
Paire 55	1A - 11A	-29,749	15,265	2,203	-34,182	-25,317	-13,502	47	0,000
Paire 56	1B - 11B	-31,849	12,815	1,850	-35,570	-28,128	-17,219	47	0,000
Paire 57	1C - 11C	-29,108	15,349	2,215	-33,565	-24,651	-13,138	47	0,000
Paire 58	1D - 11D	-20,283	18,454	2,664	-25,641	-14,924	-7,615	47	0,000
Paire 59	1E - 11E	-14,559	17,305	2,498	-19,583	-9,534	-5,829	47	0,000
Paire 60	1F - 11F	-15,230	19,558	2,823	-20,909	-9,551	-5,395	47	0,000

N.B. La signification des paires pour lesquels l'hypothèse de distribution normale a été retenue pour les deux mesures est surligné en couleur verte

Tableau E.07 Comparaison de moyennes. Test de Wilcoxon.

Paires	Indice d'instabilité		Vitesse du point critique		Points d'Hausdorff. Plan antéro-postérieur		Points d'Hausdorff. Plan médio-latéral	
	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.
2A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,980 <sup>b</sup>	0,000	-5,852 <sup>b</sup>	0,000
2B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,807 <sup>b</sup>	0,000	-5,958 <sup>b</sup>	0,000
2C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,969 <sup>b</sup>	0,000	-5,536 <sup>b</sup>	0,000	-5,991 <sup>b</sup>	0,000
2D - 1D	-5,980 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,083 <sup>b</sup>	0,000	-5,228 <sup>b</sup>	0,000
2E - 1E	-5,692 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-3,871 <sup>b</sup>	0,000	-2,921 <sup>b</sup>	0,003
2F - 1F	-5,980 <sup>b</sup>	0,000	-5,805 <sup>b</sup>	0,000	-5,059 <sup>b</sup>	0,000	-4,355 <sup>b</sup>	0,000
3A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,853 <sup>b</sup>	0,000	-5,149 <sup>b</sup>	0,000
3B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,965 <sup>b</sup>	0,000	-5,857 <sup>b</sup>	0,000
3C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,607 <sup>b</sup>	0,000	-5,507 <sup>b</sup>	0,000
3D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,000 <sup>b</sup>	0,000	-5,631 <sup>b</sup>	0,000	-3,714 <sup>b</sup>	0,000
3E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-4,287 <sup>b</sup>	0,000	-3,509 <sup>b</sup>	0,000
3F - 1F	-5,990 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,557 <sup>b</sup>	0,000	-4,133 <sup>b</sup>	0,000
4A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,736 <sup>b</sup>	0,000	-,773 <sup>b</sup>	0,440
4B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,272 <sup>b</sup>	0,000	-2,800 <sup>b</sup>	0,005
4C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-4,891 <sup>b</sup>	0,000	-3,057 <sup>b</sup>	0,002
4D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,350 <sup>b</sup>	0,000	-2,482 <sup>c</sup>	0,013
4E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-3,299 <sup>b</sup>	0,001	-1,440 <sup>c</sup>	0,150
4F - 1F	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-4,323 <sup>b</sup>	0,000	-,900 <sup>c</sup>	0,368
5A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,837 <sup>b</sup>	0,000	-5,826 <sup>b</sup>	0,000
5B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,965 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000
5C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,478 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
5D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,631 <sup>b</sup>	0,000
5E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-2,970 <sup>b</sup>	0,003	-5,153 <sup>b</sup>	0,000
5F - 1F	-5,857 <sup>b</sup>	0,000	-6,010 <sup>b</sup>	0,000	-3,556 <sup>b</sup>	0,000	-5,147 <sup>b</sup>	0,000
6A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,832 <sup>b</sup>	0,000	-4,625 <sup>b</sup>	0,000
6B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,129 <sup>b</sup>	0,000	-5,223 <sup>b</sup>	0,000
6C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-4,808 <sup>b</sup>	0,000	-4,949 <sup>b</sup>	0,000
6D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,610 <sup>b</sup>	0,000	-4,349 <sup>b</sup>	0,000	-1,518 <sup>b</sup>	0,129
6F - 1F	-5,903 <sup>b</sup>	0,000	-5,077 <sup>b</sup>	0,000	-3,360 <sup>b</sup>	0,001	-1,400 <sup>b</sup>	0,162
7A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,959 <sup>b</sup>	0,000	-5,425 <sup>b</sup>	0,000	-5,903 <sup>b</sup>	0,000
7B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,128 <sup>b</sup>	0,000	-5,980 <sup>b</sup>	0,000
7C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-4,477 <sup>b</sup>	0,000	-5,862 <sup>b</sup>	0,000
7D - 1D	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,210 <sup>b</sup>	0,000	-4,953 <sup>b</sup>	0,000	-5,239 <sup>b</sup>	0,000
7F - 1F	-5,713 <sup>b</sup>	0,000	-4,308 <sup>b</sup>	0,000	-4,853 <sup>b</sup>	0,000	-5,391 <sup>b</sup>	0,000
8A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,932 <sup>b</sup>	0,000	-5,554 <sup>b</sup>	0,000

Paires	Indice d'instabilité		Vitesse du point critique		Points d'Hausdorff. Plan antéro-postérieur		Points d'Hausdorff. Plan médio-latéral	
	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.
8B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,144 <sup>b</sup>	0,000	-5,877 <sup>b</sup>	0,000
8C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,112 <sup>b</sup>	0,000	-5,799 <sup>b</sup>	0,000
8D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,877 <sup>b</sup>	0,000	-5,207 <sup>b</sup>	0,000	-4,273 <sup>b</sup>	0,000
8E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,928 <sup>b</sup>	0,000	-3,980 <sup>b</sup>	0,000	-4,463 <sup>b</sup>	0,000
8F - 1F	-5,970 <sup>b</sup>	0,000	-5,590 <sup>b</sup>	0,000	-4,572 <sup>b</sup>	0,000	-4,345 <sup>b</sup>	0,000
9A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,647 <sup>b</sup>	0,000	-5,959 <sup>b</sup>	0,000
9B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,779 <sup>b</sup>	0,000	-6,000 <sup>b</sup>	0,000
9C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,339 <sup>b</sup>	0,000	-6,011 <sup>b</sup>	0,000
9D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,673 <sup>b</sup>	0,000	-5,802 <sup>b</sup>	0,000
9E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,010 <sup>b</sup>	0,000	-3,399 <sup>b</sup>	0,001	-4,313 <sup>b</sup>	0,000
9F - 1F	-5,852 <sup>b</sup>	0,000	-5,795 <sup>b</sup>	0,000	-4,753 <sup>b</sup>	0,000	-5,404 <sup>b</sup>	0,000
10A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,021 <sup>b</sup>	0,000	-5,857 <sup>b</sup>	0,000	-5,307 <sup>b</sup>	0,000
10B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,885 <sup>b</sup>	0,000	-5,765 <sup>b</sup>	0,000
10C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-4,493 <sup>b</sup>	0,000	-5,375 <sup>b</sup>	0,000
10D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,590 <sup>b</sup>	0,000	-5,739 <sup>b</sup>	0,000	-2,825 <sup>b</sup>	0,005
10E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,036 <sup>b</sup>	0,000	-4,149 <sup>b</sup>	0,000	-2,022 <sup>b</sup>	0,043
10F - 1F	-5,898 <sup>b</sup>	0,000	-5,087 <sup>b</sup>	0,000	-4,468 <sup>b</sup>	0,000	-2,729 <sup>b</sup>	0,006
11A - 1A	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,939 <sup>b</sup>	0,000	-5,508 <sup>b</sup>	0,000	-5,729 <sup>b</sup>	0,000
11B - 1B	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,446 <sup>b</sup>	0,000	-5,852 <sup>b</sup>	0,000
11C - 1C	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,990 <sup>b</sup>	0,000	-4,356 <sup>b</sup>	0,000	-5,836 <sup>b</sup>	0,000
11D - 1D	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-5,149 <sup>b</sup>	0,000	-4,544 <sup>b</sup>	0,000	-4,590 <sup>b</sup>	0,000
11E - 1E	-6,031 <sup>b</sup>	0,000	-4,656 <sup>b</sup>	0,000	-3,899 <sup>b</sup>	0,000	-4,579 <sup>b</sup>	0,000
11F - 1F	-5,631 <sup>b</sup>	0,000	-4,513 <sup>b</sup>	0,000	-3,159 <sup>b</sup>	0,002	-4,103 <sup>b</sup>	0,000

a. Test de classement de Wilcoxon

b. Basée sur les rangs négatifs.

Les résultats pour lesquels la différence n'est pas significative sont surlignés en couleur.

Tableau E.08 Comparaison des moyennes du bilan 4 avec les bilans 2,3 et 5 à 11. Indice d'instabilité posturale.

**Indice d'instabilité posturale. Test des échantillons appariés**

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	4A - 2A	0,897	0,606	0,088	0,721	1,073	10,250	47	0,000
Paire 2	4B - 2B	0,703	0,598	0,086	0,529	0,876	8,134	47	0,000
Paire 3	4C - 2C	0,746	0,577	0,083	0,579	0,914	8,961	47	0,000
Paire 4	4D - 2D	0,749	0,781	0,113	0,523	0,976	6,650	47	0,000
Paire 5	4E - 2E	0,566	0,790	0,114	0,337	0,796	4,967	47	0,000
Paire 6	4F - 2F	0,521	0,635	0,092	0,336	0,705	5,679	47	0,000
Paire 7	4A - 3A	0,794	0,349	0,050	0,692	0,895	15,734	47	0,000
Paire 8	4B - 3B	0,706	0,337	0,049	0,608	0,804	14,500	47	0,000
Paire 9	4C - 3C	0,746	0,333	0,048	0,649	0,843	15,509	47	0,000
Paire 10	4D - 3D	0,657	0,299	0,043	0,570	0,743	15,228	47	0,000
Paire 11	4E - 3E	0,600	0,301	0,044	0,513	0,688	13,799	47	0,000
Paire 12	4F - 3F	0,517	0,340	0,049	0,419	0,616	10,552	47	0,000
Paire 13	4A - 5A	0,927	0,352	0,051	0,825	1,029	18,265	47	0,000
Paire 14	4B - 5B	0,901	0,370	0,053	0,794	1,009	16,882	47	0,000
Paire 15	4C - 5C	0,909	0,325	0,047	0,815	1,003	19,372	47	0,000
Paire 16	4D - 5D	0,886	0,298	0,043	0,800	0,973	20,639	47	0,000
Paire 17	4E - 5E	0,823	0,303	0,044	0,735	0,911	18,846	47	0,000
Paire 18	4F - 5F	0,745	0,384	0,055	0,633	0,857	13,440	47	0,000
Paire 19	4A - 6A	0,542	0,406	0,059	0,424	0,660	9,261	47	0,000
Paire 20	4B - 6B	0,475	0,372	0,054	0,367	0,583	8,845	47	0,000
Paire 21	4C - 6C	0,584	0,400	0,058	0,468	0,700	10,114	47	0,000
Paire 22	4D - 6D	0,473	0,382	0,055	0,362	0,584	8,583	47	0,000
Paire 23	4E - 6E	0,534	0,314	0,045	0,443	0,626	11,783	47	0,000
Paire 24	4F - 6F	0,580	0,317	0,046	0,488	0,672	12,664	47	0,000
Paire 25	4A - 7A	1,144	0,483	0,070	1,003	1,284	16,391	47	0,000
Paire 26	4B - 7B	1,034	0,389	0,056	0,922	1,147	18,439	47	0,000
Paire 27	4C - 7C	1,098	0,430	0,062	0,973	1,223	17,684	47	0,000
Paire 28	4D - 7D	1,020	0,343	0,049	0,920	1,119	20,623	47	0,000

## Indice d'instabilité posturale. Test des échantillons appariés

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 29	4E - 7E	0,968	0,287	0,041	0,884	1,051	23,330	47	0,000
Paire 30	4F - 7F	0,982	0,297	0,043	0,896	1,068	22,901	47	0,000
Paire 31	4A - 8A	1,071	0,614	0,089	0,893	1,250	12,084	47	0,000
Paire 32	4B - 8B	1,014	0,570	0,082	0,849	1,179	12,329	47	0,000
Paire 33	4C - 8C	1,046	0,665	0,096	0,853	1,239	10,901	47	0,000
Paire 34	4D - 8D	0,975	0,559	0,081	0,813	1,137	12,096	47	0,000
Paire 35	4E - 8E	0,792	0,460	0,066	0,659	0,926	11,936	47	0,000
Paire 36	4F - 8F	0,828	0,579	0,084	0,659	0,996	9,897	47	0,000
Paire 37	4A - 9A	1,134	0,685	0,099	0,935	1,333	11,469	47	0,000
Paire 38	4B - 9B	1,151	0,595	0,086	0,978	1,324	13,395	47	0,000
Paire 39	4C - 9C	1,188	0,578	0,083	1,020	1,356	14,235	47	0,000
Paire 40	4D - 9D	1,104	0,479	0,069	0,965	1,243	15,985	47	0,000
Paire 41	4E - 9E	0,858	0,400	0,058	0,742	0,974	14,856	47	0,000
Paire 42	4F - 9F	0,878	0,428	0,062	0,754	1,002	14,226	47	0,000
Paire 43	4A - 10A	0,588	0,494	0,071	0,444	0,731	8,240	47	0,000
Paire 44	4B - 10B	0,531	0,479	0,069	0,392	0,670	7,682	47	0,000
Paire 45	4C - 10C	0,655	0,426	0,062	0,531	0,779	10,639	47	0,000
Paire 46	4D - 10D	0,605	0,327	0,047	0,510	0,700	12,812	47	0,000
Paire 47	4E - 10E	0,660	0,318	0,046	0,568	0,753	14,376	47	0,000
Paire 48	4F - 10F	0,659	0,293	0,042	0,573	0,744	15,555	47	0,000
Paire 49	4A - 11A	1,110	0,445	0,064	0,981	1,239	17,294	47	0,000
Paire 50	4B - 11B	1,055	0,437	0,063	0,928	1,182	16,716	47	0,000
Paire 51	4C - 11C	1,146	0,499	0,072	1,001	1,291	15,901	47	0,000
Paire 52	4D - 11D	1,081	0,393	0,057	0,967	1,195	19,069	47	0,000
Paire 53	4E - 11E	0,995	0,279	0,040	0,914	1,076	24,694	47	0,000
Paire 54	4F - 11F	1,009	0,374	0,054	0,900	1,117	18,699	47	0,000

N.B. La signification des paires pour lesquels l'hypothèse de distribution normale a été retenue pour les deux mesures est surligné en couleur verte

Tableau E.09 Comparaison des moyennes du bilan 4 avec les bilans 2,3 et 5 à 11.  
Vitesse du point critique.

**Vitesse du point critique. Test des échantillons appariés**

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	4A - 2A	52,969	47,509	6,857	39,174	66,764	7,724	47	0,000
Paire 2	4B - 2B	41,994	44,324	6,398	29,124	54,864	6,564	47	0,000
Paire 3	4C - 2C	48,691	45,405	6,554	35,506	61,875	7,429	47	0,000
Paire 4	4D - 2D	31,651	44,849	6,473	18,628	44,674	4,889	47	0,000
Paire 5	4E - 2E	15,365	32,946	4,755	5,798	24,931	3,231	47	0,002
Paire 6	4F - 2F	14,037	39,464	5,696	2,578	25,496	2,464	47	0,017
Paire 7	4A - 3A	47,240	33,100	4,778	37,629	56,851	9,888	47	0,000
Paire 8	4B - 3B	40,626	29,257	4,223	32,131	49,121	9,621	47	0,000
Paire 9	4C - 3C	43,942	31,283	4,515	34,859	53,026	9,732	47	0,000
Paire 10	4D - 3D	30,966	27,226	3,930	23,061	38,872	7,880	47	0,000
Paire 11	4E - 3E	20,822	21,696	3,132	14,522	27,122	6,649	47	0,000
Paire 12	4F - 3F	16,231	23,897	3,449	9,292	23,170	4,706	47	0,000
Paire 13	4A - 5A	40,960	33,930	4,897	31,108	50,812	8,364	47	0,000
Paire 14	4B - 5B	35,378	29,675	4,283	26,762	43,995	8,260	47	0,000
Paire 15	4C - 5C	39,484	33,522	4,839	29,750	49,218	8,160	47	0,000
Paire 16	4D - 5D	32,022	29,649	4,280	23,412	40,631	7,483	47	0,000
Paire 17	4E - 5E	18,179	21,212	3,062	12,020	24,338	5,938	47	0,000
Paire 18	4F - 5F	18,093	23,615	3,409	11,236	24,950	5,308	47	0,000
Paire 19	4A - 6A	70,479	45,484	6,565	57,272	83,687	10,735	47	0,000
Paire 20	4B - 6B	63,595	45,217	6,526	50,466	76,725	9,744	47	0,000
Paire 21	4C - 6C	71,435	45,665	6,591	58,175	84,695	10,838	47	0,000
Paire 22	4D - 6D	55,636	39,949	5,766	44,036	67,236	9,649	47	0,000
Paire 23	4E - 6E	40,611	28,789	4,155	32,252	48,971	9,773	47	0,000
Paire 24	4F - 6F	45,174	33,099	4,777	35,563	54,785	9,456	47	0,000
Paire 25	4A - 7A	81,020	47,105	6,799	67,342	94,698	11,917	47	0,000
Paire 26	4B - 7B	73,038	41,980	6,059	60,848	85,227	12,054	47	0,000
Paire 27	4C - 7C	80,372	45,249	6,531	67,233	93,511	12,306	47	0,000
Paire 28	4D - 7D	65,807	41,293	5,960	53,816	77,797	11,041	47	0,000
Paire 29	4E - 7E	48,519	31,682	4,573	39,319	57,718	10,610	47	0,000
Paire 30	4F - 7F	53,056	33,105	4,778	43,443	62,668	11,103	47	0,000
Paire 31	4A - 8A	66,577	50,244	7,252	51,988	81,166	9,180	47	0,000
Paire 32	4B - 8B	61,099	43,617	6,296	48,434	73,764	9,705	47	0,000
Paire 33	4C - 8C	66,332	48,028	6,932	52,386	80,278	9,569	47	0,000

## Vitesse du point critique. Test des échantillons appariés

Paires		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatéral)
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
					Inférieur	Supérieur			
Paire 34	4D - 8D	51,708	44,353	6,402	38,830	64,587	8,077	47	0,000
Paire 35	4E - 8E	32,895	33,008	4,764	23,310	42,479	6,904	47	0,000
Paire 36	4F - 8F	40,350	35,900	5,182	29,926	50,774	7,787	47	0,000
Paire 37	4A - 9A	54,201	53,273	7,689	38,732	69,670	7,049	47	0,000
Paire 38	4B - 9B	50,310	44,626	6,441	37,352	63,268	7,811	47	0,000
Paire 39	4C - 9C	57,526	47,878	6,911	43,624	71,429	8,324	47	0,000
Paire 40	4D - 9D	42,225	43,267	6,245	29,661	54,788	6,761	47	0,000
Paire 41	4E - 9E	27,717	33,411	4,822	18,015	37,418	5,747	47	0,000
Paire 42	4F - 9F	30,804	34,677	5,005	20,735	40,873	6,154	47	0,000
Paire 43	4A - 10A	74,624	49,548	7,152	60,236	89,011	10,435	47	0,000
Paire 44	4B - 10B	65,160	44,805	6,467	52,150	78,170	10,076	47	0,000
Paire 45	4C - 10C	74,553	48,616	7,017	60,436	88,669	10,624	47	0,000
Paire 46	4D - 10D	59,061	41,069	5,928	47,136	70,986	9,963	47	0,000
Paire 47	4E - 10E	43,430	32,612	4,707	33,961	52,900	9,227	47	0,000
Paire 48	4F - 10F	49,446	32,766	4,729	39,932	58,961	10,455	47	0,000
Paire 49	4A - 11A	80,333	46,399	6,697	66,860	93,806	11,995	47	0,000
Paire 50	4B - 11B	71,764	42,989	6,205	59,281	84,246	11,566	47	0,000
Paire 51	4C - 11C	81,306	46,210	6,670	67,888	94,724	12,190	47	0,000
Paire 52	4D - 11D	65,889	41,982	6,060	53,699	78,079	10,874	47	0,000
Paire 53	4E - 11E	47,952	32,566	4,701	38,496	57,409	10,201	47	0,000
Paire 54	4F - 11F	53,499	33,420	4,824	43,794	63,203	11,091	47	0,000

N.B. La signification des paires pour lesquels l'hypothèse de distribution normale a été retenue pour les deux mesures est surligné en couleur verte

Tableau E.10 Comparaison des moyennes du bilan 4 avec les bilans 2,3 et 5 à 11. Test de Wilcoxon

Comparaison de moyennes. Résultats du test de Wilcoxon pour échantillons appariés

Paires	Indice d'instabilité posturale		Vitesse du point critique		Points d'Hausdorff. Plan antéro-postérieur		Points d'Hausdorff. Plan médio-latéral	
	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.
2A - 4A	-6,000b	0,000	-5,415b	0,000	-,141b	0,888	-5,415 <sup>b</sup>	0,000
2B - 4B	-5,795b	0,000	-5,067b	0,000	-,139b	0,889	-5,067 <sup>b</sup>	0,000
2C - 4C	-5,862b	0,000	-5,180b	0,000	-1,181b	0,238	-5,180 <sup>b</sup>	0,000
2D - 4D	-5,928b	0,000	-4,092b	0,000	-1,245b	0,213	-4,092 <sup>b</sup>	0,000
2E - 4E	-5,467b	0,000	-3,046b	0,002	-,929c	0,353	-3,046 <sup>b</sup>	0,002
2F - 4F	-5,165b	0,000	-2,544b	0,011	-1,186c	0,236	-2,544 <sup>b</sup>	0,011
3A - 4A	-6,021b	0,000	-6,000b	0,000	-1,826c	0,068	-6,000 <sup>b</sup>	0,000
3B - 4B	-6,031b	0,000	-5,918b	0,000	-1,110c	0,267	-5,918 <sup>b</sup>	0,000
3C - 4C	-5,995b	0,000	-5,774b	0,000	-1,635c	0,102	-5,774 <sup>b</sup>	0,000
3D - 4D	-6,031b	0,000	-5,344b	0,000	-,266c	0,790	-5,344 <sup>b</sup>	0,000
3E - 4E	-6,021b	0,000	-5,118b	0,000	-2,019c	0,044	-5,118 <sup>b</sup>	0,000
3F - 4F	-5,923b	0,000	-4,051b	0,000	-2,061c	0,039	-4,051 <sup>b</sup>	0,000
5A - 4A	-6,021b	0,000	-5,662b	0,000	-1,238b	0,216	-5,662 <sup>b</sup>	0,000
5B - 4B	-6,001b	0,000	-5,436b	0,000	-1,044b	0,297	-5,436 <sup>b</sup>	0,000
5C - 4C	-6,031b	0,000	-5,405b	0,000	-,762b	0,446	-5,405 <sup>b</sup>	0,000
5D - 4D	-6,031b	0,000	-5,251b	0,000	-3,208b	0,001	-5,251 <sup>b</sup>	0,000
5E - 4E	-5,969b	0,000	-4,718b	0,000	-,323c	0,747	-4,718 <sup>b</sup>	0,000
5F - 4F	-5,970b	0,000	-4,421b	0,000	-2,552b	0,011	-4,421 <sup>b</sup>	0,000
6A - 4A	-5,715b	0,000	-5,990b	0,000	-,344b	0,731	-5,990 <sup>b</sup>	0,000
6B - 4B	-5,580b	0,000	-5,754b	0,000	-,644b	0,520	-5,754 <sup>b</sup>	0,000
6C - 4C	-5,708b	0,000	-5,898b	0,000	-,888b	0,375	-5,898 <sup>b</sup>	0,000
6D - 4D	-5,611b	0,000	-5,856b	0,000	-2,175b	0,030	-5,856 <sup>b</sup>	0,000
6E - 4E	-5,929b	0,000	-5,877b	0,000	-,536c	0,592	-5,877 <sup>b</sup>	0,000
6F - 4F	-6,021b	0,000	-5,815b	0,000	-,395b	0,693	-5,815 <sup>b</sup>	0,000
7A - 4A	-6,021b	0,000	-6,031b	0,000	-3,382b	0,001	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
7B - 4B	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-2,366b	0,018	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
7C - 4C	-6,032b	0,000	-6,000b	0,000	-2,947b	0,003	-6,000 <sup>b</sup>	0,000
7D - 4D	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-2,520b	0,012	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
7E - 4E	-6,031b	0,000	-6,000b	0,000	-2,034c	0,042	-6,000 <sup>b</sup>	0,000
7F - 4F	-6,032b	0,000	-6,031b	0,000	-,823b	0,411	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
8A - 4A	-5,939b	0,000	-5,651b	0,000	-1,509b	0,131	-5,651 <sup>b</sup>	0,000
8B - 4B	-6,000b	0,000	-5,795b	0,000	-1,074b	0,283	-5,795 <sup>b</sup>	0,000
8C - 4C	-5,944b	0,000	-5,672b	0,000	-1,664b	0,096	-5,672 <sup>b</sup>	0,000

Comparaison de moyennes. Résultats du test de Wilcoxon pour échantillons appariés

Paires	Indice d'instabilité posturale		Vitesse du point critique		Points d'Hausdorff. Plan antéro-postérieur		Points d'Hausdorff. Plan médio-latéral	
	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.	Z	Sig.
8D - 4D	-5,980b	0,000	-5,528b	0,000	-1,038b	0,299	-5,528 <sup>b</sup>	0,000
8E - 4E	-5,926b	0,000	-5,467b	0,000	-,757c	0,449	-5,467 <sup>b</sup>	0,000
8F - 4F	-5,923b	0,000	-5,744b	0,000	-,164b	0,870	-5,744 <sup>b</sup>	0,000
9A - 4A	-6,000b	0,000	-5,210b	0,000	-1,751b	0,080	-5,210 <sup>b</sup>	0,000
9B - 4B	-6,031b	0,000	-5,436b	0,000	-,918b	0,359	-5,436 <sup>b</sup>	0,000
9C - 4C	-6,021b	0,000	-5,498b	0,000	-1,595b	0,111	-5,498 <sup>b</sup>	0,000
9D - 4D	-6,031b	0,000	-5,139b	0,000	-,637b	0,524	-5,139 <sup>b</sup>	0,000
9E - 4E	-6,021b	0,000	-4,667b	0,000	-,350c	0,727	-4,667 <sup>b</sup>	0,000
9F - 4F	-6,031b	0,000	-4,831b	0,000	-,410b	0,682	-4,831 <sup>b</sup>	0,000
10A - 4A	-5,329b	0,000	-5,928b	0,000	-1,503b	0,133	-5,928 <sup>b</sup>	0,000
10B - 4B	-5,186b	0,000	-5,918b	0,000	-,444c	0,657	-5,918 <sup>b</sup>	0,000
10C - 4C	-5,846b	0,000	-5,898b	0,000	-1,277b	0,202	-5,898 <sup>b</sup>	0,000
10D - 4D	-5,990b	0,000	-5,939b	0,000	-,918b	0,358	-5,939 <sup>b</sup>	0,000
10E - 4E	-6,031b	0,000	-5,867b	0,000	-1,975c	0,048	-5,867 <sup>b</sup>	0,000
10F - 4F	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-,580b	0,562	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
11A - 4A	-6,031b	0,000	-6,021b	0,000	-2,416b	0,016	-6,021 <sup>b</sup>	0,000
11B - 4B	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-1,924b	0,054	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
11C - 4C	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-2,901b	0,004	-6,031 <sup>b</sup>	0,000
11D - 4D	-6,031b	0,000	-6,021b	0,000	-2,959b	0,003	-6,021 <sup>b</sup>	0,000
11E - 4E	-6,031b	0,000	-5,980b	0,000	-,678c	0,498	-5,980 <sup>b</sup>	0,000
11F - 4F	-6,031b	0,000	-6,031b	0,000	-2,539b	0,011	-6,031 <sup>b</sup>	0,000

a. Test de classement de Wilcoxon

b. Basée sur les rangs négatifs.

c. Basée sur les rangs positifs.

Les résultats pour lesquels la différence n'est pas significative sont surlignés en couleur.

Tableau E.11 Indice d'instabilité posturale. Analyse de la variance à 2 facteurs

Indice d'instabilité posturale. ANOVA Tests des contrastes intra-sujets								
Source			Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Plateforme	Bilan1	Linéaire	161,595	1	161,595	228,735	0,000	0,830
	Bilan2	Linéaire	2,616	1	2,616	3,630	0,063	0,072
	Bilan3	Linéaire	2,268	1	2,268	25,996	0,000	0,356
	Bilan4	Linéaire	0,031	1	0,031	0,288	0,594	0,006
	Bilan5	Linéaire	0,949	1	0,949	13,485	0,001	0,223
	Bilan6	Linéaire	0,045	1	0,045	0,506	0,480	0,011
	Bilan7	Linéaire	1,090	1	1,090	13,647	0,001	0,225
	Bilan8	Linéaire	2,862	1	2,862	18,223	0,000	0,279
	Bilan9	Linéaire	3,853	1	3,853	18,785	0,000	0,286
	Bilan10	Linéaire	0,063	1	0,063	0,534	0,468	0,011
	Bilan11	Linéaire	0,665	1	0,665	13,716	0,001	0,226
Yeux	Bilan1	Linéaire	28,583	1	28,583	46,067	0,000	0,495
		Quadratique	2,110	1	2,110	6,427	0,015	0,120
	Bilan2	Linéaire	2,625	1	2,625	35,674	0,000	0,431
		Quadratique	0,763	1	0,763	16,822	0,000	0,264
	Bilan3	Linéaire	0,909	1	0,909	31,157	0,000	0,399
		Quadratique	0,105	1	0,105	2,934	0,093	0,059
	Bilan4	Linéaire	0,093	1	0,093	3,453	0,069	0,068
		Quadratique	0,015	1	0,015	0,772	0,384	0,016
	Bilan5	Linéaire	0,735	1	0,735	16,998	0,000	0,266
		Quadratique	0,025	1	0,025	1,201	0,279	0,025
	Bilan6	Linéaire	0,044	1	0,044	1,096	0,301	0,023
		Quadratique	0,197	1	0,197	10,973	0,002	0,189
	Bilan7	Linéaire	0,353	1	0,353	11,197	0,002	0,192
		Quadratique	0,361	1	0,361	17,994	0,000	0,277
	Bilan8	Linéaire	0,819	1	0,819	7,919	0,007	0,144
		Quadratique	0,544	1	0,544	10,651	0,002	0,185
	Bilan9	Linéaire	0,814	1	0,814	14,864	0,000	0,240
		Quadratique	0,478	1	0,478	15,819	0,000	0,252
	Bilan10	Linéaire	0,013	1	0,013	0,558	0,459	0,012
		Quadratique	0,137	1	0,137	5,236	0,027	0,100
	Bilan11	Linéaire	0,186	1	0,186	8,930	0,004	0,160
		Quadratique	0,379	1	0,379	17,115	0,000	0,267
Plateforme * Yeux	Bilan1	Linéaire	5,221	1	5,221	19,698	0,000	0,295
		Quadratique	9,860	1	9,860	39,693	0,000	0,458
	Bilan2	Linéaire	0,249	1	0,249	3,401	0,071	0,067
		Quadratique	0,145	1	0,145	2,202	0,144	0,045
	Bilan3	Linéaire	0,298	1	0,298	11,734	0,001	0,200
		Quadratique	0,075	1	0,075	3,085	0,086	0,062
	Bilan4	Linéaire	0,052	1	0,052	2,972	0,091	0,059
		Quadratique	0,341	1	0,341	24,518	0,000	0,343
	Bilan5	Linéaire	0,431	1	0,431	14,346	0,000	0,234
		Quadratique	0,238	1	0,238	14,446	0,000	0,235
	Bilan6	Linéaire	0,000	1	0,000	0,001	0,979	0,000
		Quadratique	0,040	1	0,040	2,810	0,100	0,056
	Bilan7	Linéaire	0,041	1	0,041	1,449	0,235	0,030
		Quadratique	0,137	1	0,137	6,524	0,014	0,122
	Bilan8	Linéaire	0,424	1	0,424	8,517	0,005	0,153
		Quadratique	0,710	1	0,710	21,259	0,000	0,311
	Bilan9	Linéaire	1,439	1	1,439	27,452	0,000	0,369
		Quadratique	1,163	1	1,163	28,846	0,000	0,380
	Bilan10	Linéaire	0,076	1	0,076	4,970	0,031	0,096
		Quadratique	0,011	1	0,011	0,707	0,405	0,015
	Bilan11	Linéaire	0,367	1	0,367	11,395	0,001	0,195
		Quadratique	0,240	1	0,240	13,964	0,001	0,229

Tableau E.11 Indice d'instabilité posturale. Analyse de la variance à 2 facteurs. Sphéricité

Tests de sphéricité de Mauchly <sup>a</sup>								
Effet intra-sujet		W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
						Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Borne inférieure
Plateforme	Bilan1	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan2	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan3	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan4	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan5	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan6	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan7	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan8	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan9	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan10	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
	Bilan11	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Yeux	Bilan1	0,903	4,696	2	0,096	0,912	0,946	0,500
	Bilan2	0,941	2,820	2	0,244	0,944	0,982	0,500
	Bilan3	0,979	0,988	2	0,610	0,979	1,000	0,500
	Bilan4	0,893	5,207	2	0,074	0,903	0,937	0,500
	Bilan5	0,868	6,532	2	0,038	0,883	0,915	0,500
	Bilan6	0,803	10,067	2	0,007	0,836	0,863	0,500
	Bilan7	0,950	2,356	2	0,308	0,952	0,992	0,500
	Bilan8	0,878	5,969	2	0,051	0,892	0,924	0,500
	Bilan9	0,893	5,214	2	0,074	0,903	0,937	0,500
	Bilan10	0,996	0,191	2	0,909	0,996	1,000	0,500
	Bilan11	0,981	0,875	2	0,646	0,981	1,000	0,500
Plateforme * Yeux	Bilan1	0,999	0,057	2	0,972	0,999	1,000	0,500
	Bilan2	0,970	1,391	2	0,499	0,971	1,000	0,500
	Bilan3	0,966	1,610	2	0,447	0,967	1,000	0,500
	Bilan4	0,984	0,748	2	0,688	0,984	1,000	0,500
	Bilan5	0,881	5,824	2	0,054	0,894	0,927	0,500
	Bilan6	0,836	8,255	2	0,016	0,859	0,888	0,500
	Bilan7	0,948	2,440	2	0,295	0,951	0,990	0,500
	Bilan8	0,957	1,999	2	0,368	0,959	0,999	0,500
	Bilan9	0,915	4,086	2	0,130	0,922	0,958	0,500
	Bilan10	0,993	0,335	2	0,846	0,993	1,000	0,500
	Bilan11	0,744	13,608	2	0,001	0,796	0,820	0,500

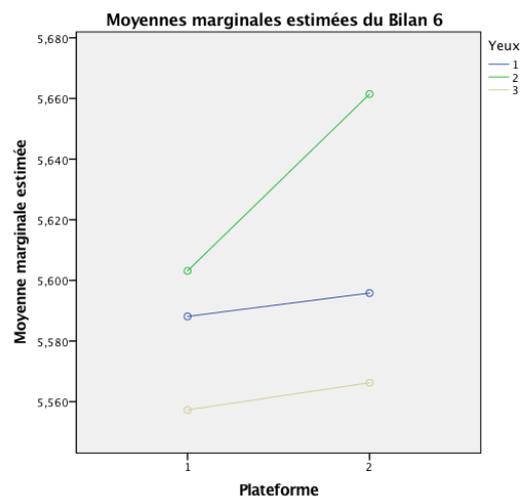
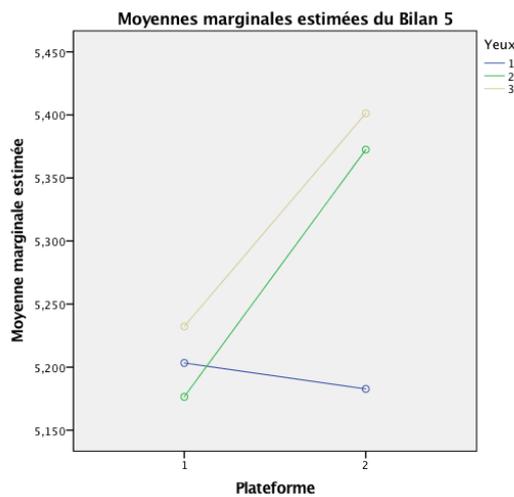
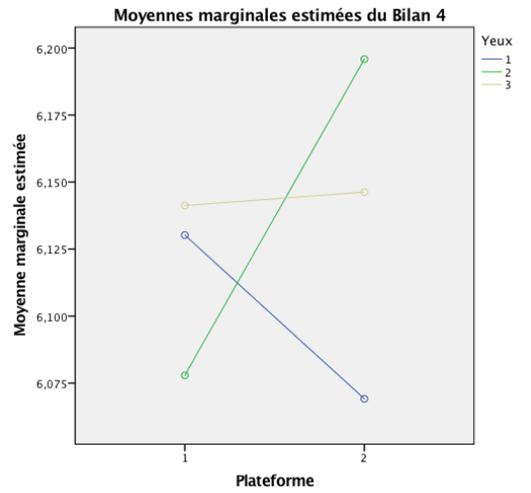
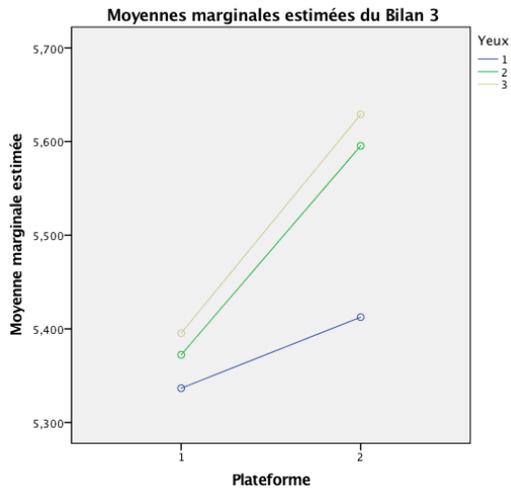
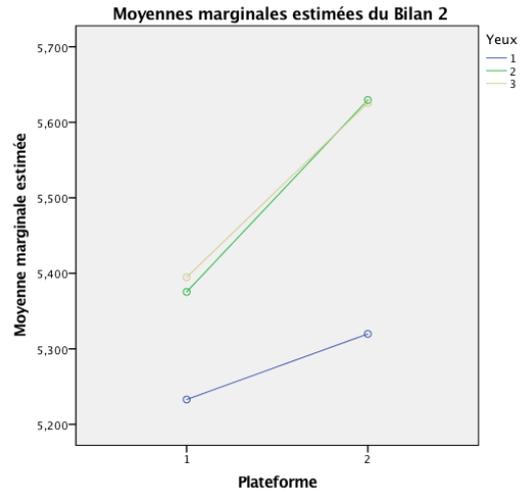
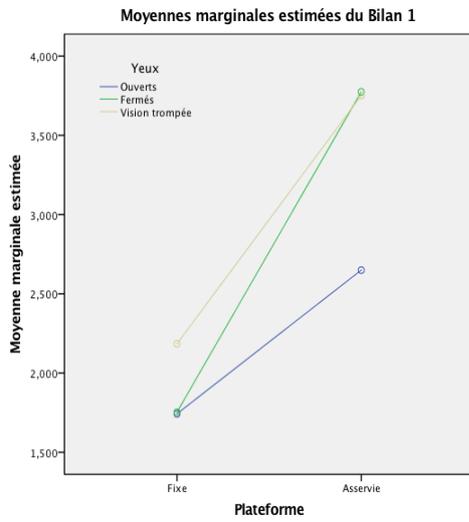
Teste l'hypothèse nulle selon laquelle la matrice de covariance des erreurs des variables dépendantes orthonormées est proportionnelle à la matrice identité.

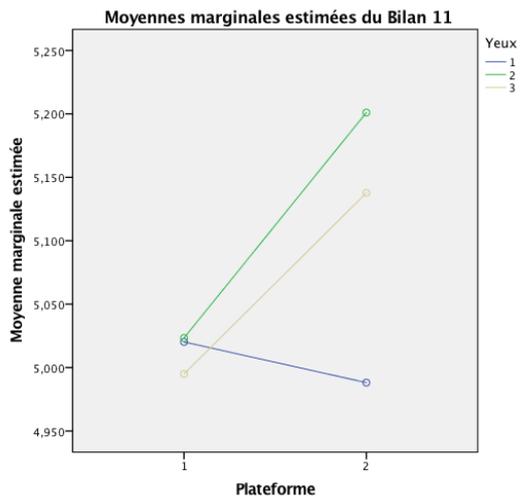
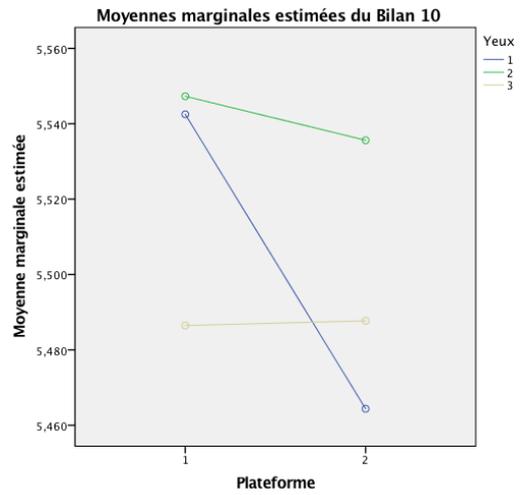
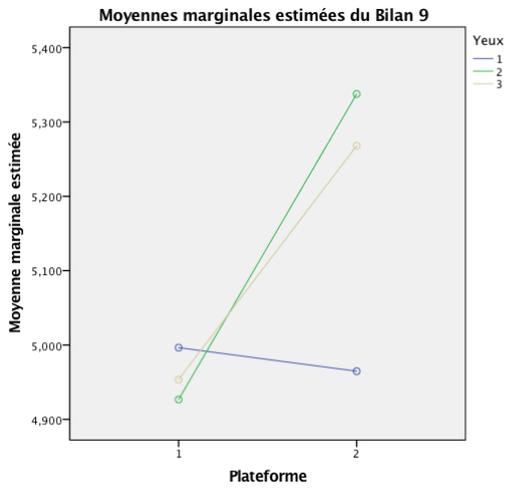
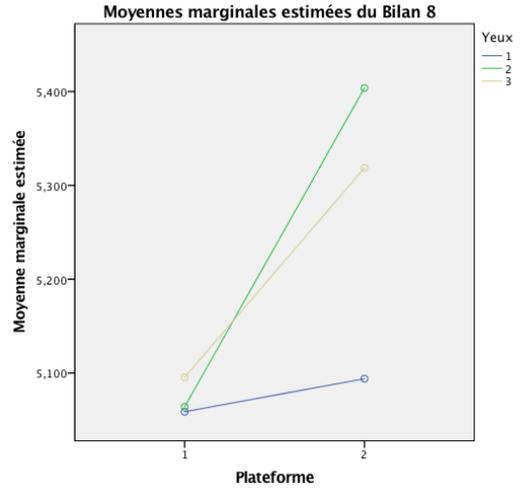
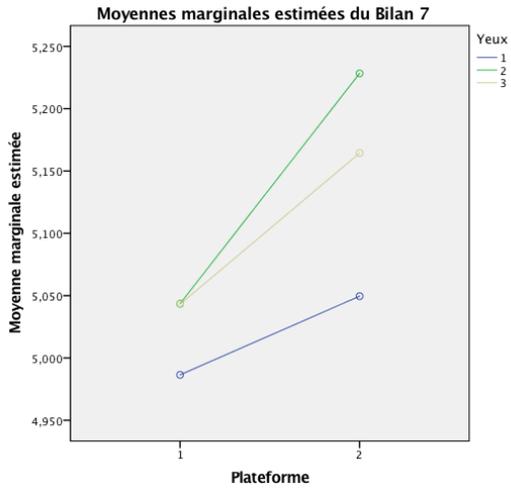
a. Plan : Constante

Plan intra-sujet : Plateforme + Yeux + Plateforme \* Yeux

b. Permet d'ajuster les degrés de liberté de la moyenne des tests de signification. Les tests corrigés sont affichés dans la table Tests des effets intra-sujets.

Graphiques E.01 Variation du IIP en fonction des entrées sensoriels





## Annexe F. Dossier éthique

Université Catholique de Louvain, Faculté de médecine  
Cliniques Universitaires Saint-Luc

Bruxelles, ce 21 juin 2016

### Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire

*A l'investigateur responsable:*  
**Prof. Naïma DEGGOUJ**  
**Otologie**  
**Cliniques Universitaires Saint-Luc**

*Au président du comité d'Éthique de :*  
**Mr. Michel DEBUE**  
**ORL**  
**Cliniques Universitaires Saint-Luc**

### **AVIS FAVORABLE DEFINITIF**

**Concerne : 2016/08AVR/154 - N° Enregistrement Belge : B403201628369**

**Intitulé :** Recherche de paramètres permettant de distinguer un déséquilibre volontaire d'un déséquilibre pathologique au moyen de la plateforme de posturographie dynamique computerisée Multitest.

Cher Collègue,

Le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire Saint-Luc - UCL a pris connaissance de l'étude susmentionnée. Nous avons examiné l'ensemble des documents concernant cette étude, y compris les documents modifiés suite aux remarques :

- Protocole, version juin 2016
- Document d'information et de consentement, version juin 2016
- Document 1 de soumission, version juin 2016

En tant que comité d'éthique principal désigné par le promoteur (unique en Belgique), selon les directives de la loi du 07 mai 2004, nous donnons un avis favorable définitif à ce projet bien que nous ne soyons pas entièrement satisfaits de votre réponse quant à la justification du choix du nombre de sujets.

Nous rappelons à l'investigateur qu'il est personnellement responsable de cette étude et au promoteur qu'il est responsable de la conformité linguistique des formulaires d'information et de consentement.

Le comité d'éthique principal déclare qu'il procède selon les directives ICH/GCP, les lois et règlements applicables, et ses propres procédures écrites.

Le comité d'éthique principal déclare qu'aucun de ses membres ayant une affiliation avec l'étude ou le sponsor n'a voté pour cette étude.

Une liste des membres actuels est jointe en annexe.

Le comité d'éthique principal sera continuellement informé de tous les SUSAR et déviations liés à ce protocole et qui se sont produits en Belgique.

Le comité d'éthique sera également informé du statut de l'étude sur base continue (comme requis par les directives ICG-GCP 4.10.1).

Nous vous prions d'agrèer, cher Collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Pharm. P. de PIERPONT  
Membre



Prof. J.-M. MALOTEAUX  
Président

Avenue Hippocrate 55.14 ? Tour Harvey, niveau 0 ? 1200 Bruxelles  
Tel. : 02/764.55.14 Fax : 02/764.55.13 E-mail : commission.ethique-saint-luc@uclouvain.be

Université Catholique de Louvain, Faculté de Médecine &  
Cliniques Universitaires Saint-Luc

**Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire**

**COMPOSITION DU COMITE D'ETHIQUE (depuis le 11 décembre 2015)**

- Président :** MALOTEAUX Jean-Marie, Docteur en médecine
- Vice-Présidents :** DUVEILLER Véronique, Pharmacienne  
MAES Marc, Docteur en médecine  
SCHAMPS Geneviève, Juriste
- Secrétaire :** LIESSE Marie-Chantal, Infirmière
- Docteurs en médecine (Cliniques Universitaires Saint-Luc et/ou à la Faculté de Médecine) :**  
BERLIERE Martine  
HORSMANS Yves  
REDING Raymond  
ROEGIERS Luc  
de BARSY Thierry (i)  
DESMEDT Marianne (i)  
OTTE Jean-Bernard (i)  
van den HOVE-VANDENBROUCKE Marie-France (i)
- Médecins omnipraticien ou extérieur aux Cliniques :**  
ORBAN Thomas  
EVRARD Patrick (Cliniques Mont-Godinne) (i)
- Ethicien :** GAZIAUX Eric
- Juristes :** MASSION Jacques (i)  
VAN HELLEPUTTE Emmanuelle (i)
- Infirmières (Cliniques Universitaires Saint-Luc) et assistante sociale :**  
COUPEZ Cécile  
DOOMS Marie  
VANDEUREN Carine (AS, représentante des patients)
- Psychologue :** TERLINDEN Guibert (i)
- Pharmacien hospitalier des Cliniques Universitaires Saint-Luc :**  
de PIERPONT Pascale (i)
- Méthodologiste :** LANTIN Anne-Catherine (i)

(i) invité

*Pour l'analyse des protocoles d'études cliniques, tous les membres reçoivent l'ensemble des documents nécessaires pour formuler un avis et doivent déclarer tout conflit d'intérêt éventuel.*

*Le Comité d'Éthique fonctionne selon les directives des Bonnes Pratiques Cliniques (BPC/GCP)*

*Numéro du Comité d'Éthique attribué par le Comité Consultatif de Bioéthique : 403 (agrément complet 2014-2018)*

*Agreement of Institutional (non-US) Review Board: IRB 00001530 (Cliniques Universitaires Saint-Luc)  
Federalwide Assurance (FWA) for the protection of human subjects: FWA 00003749 (Cliniques Universitaires Saint-Luc, e.d. November 2016)*

*Agreement of Institutional (non-US) Review Board: IRB 00008535 (Université Catholique de Louvain)  
Federalwide Assurance (FWA) for the protection of human subjects: FWA 00018229 (Université Catholique de Louvain, e.d. December 2016)*

*Accreditation by the Association for Accreditation of Human Research Protection Programs (AAHRPP) 2015 –  
Accreditation by the Belgian Federal Agency for Medicines and Health Products (FAMHP/AFMPS) 2015 -*

avenue Hippocrate 55.14  
Tour Harvey, niveau 0  
1200 Bruxelles

Tél : 02/764.55.14  
Fax : 02/764.55.13  
E-mail : [commission.ethique-saint-luc@uclouvain.be](mailto:commission.ethique-saint-luc@uclouvain.be)









**Mots clés :** aphysiologique, instabilité, plateforme, posturographie, vestibulaire.

**Introduction :** Dans la pratique de tous les jours, le clinicien vestibulaire utilise la plateforme Multitest®. Elle est amenée à être utilisée entre autres pour déterminer les différences entre un usage physiologique et non physiologique au cours d'un processus diagnostique ou au cours d'une expertise médicale. L'objectif de cette étude sera d'analyser et décrire ces deux comportements. Des normes précises discriminantes pour les deux types de populations sont nécessaires pour rendre un avis.

**Méthodes et matériel :** 48 sujets sains âgés de 18 à 30 ans ont effectués 11 bilans d'équilibre sur la plateforme Multitest®. J'ai analysé 4 paramètres issus du logiciel PosturoPro® : l'IIP, la VCP, le PPH dans le sens antéro-postérieur et dans le sens médio-latérale. Par la suite j'ai comparé les résultats dans les conditions aphysiologiques aux résultats dans la condition physiologique.

**Résultats et discussion :** Les différences hautement significatives ( $p$ -valeurs $<0.001$ ) entre le bilan contrôle et les bilans en condition aphysiologique observées par Dupierreux A et Gillet A, (2016) se confirment pour les paramètres étudiés. Une augmentation hautement significative ( $p$ -valeur $<0.001$ ) de l'IIP, de la VPC et du PPH dans le plan médio-latérale a été observée lorsqu'on compare le bilan 4 aux autres bilans de déséquilibre volontaire. L'ANOVA montre que la position de la plateforme (stable ou asservie) et la vision (yeux ouverts, fermés ou vision trompée), ainsi que leur combinaison ont une influence sur la variation de l'indice d'instabilité posturale.

**Conclusion :** La confirmation des résultats obtenus par Dupierreux A et Gillet A, (2016) pourra aiguiller le clinicien vestibulaire dans le repérage d'un tel comportement ainsi que donner des idées pour de futures explorations à ce sujet. Ce mémoire est parvenu à confirmer une tendance chez les sujets sains se comportant comme des sujets aphysiologiques ; néanmoins on ne peut pas en tirer des conclusions qui puissent caractériser de façon objective un tel pattern.