



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

École Doctorale BioSE (Biologie - Santé – Environnement)

Thèse

présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : « Sciences de la Vie et de la Santé »

par Zheng ZHANG

**Contrôle postural dans la gonarthrose : variations chronobiologiques
et effets de différents protocoles de rééducation**

le 26 Septembre 2014

Membres du Jury :

Rapporteurs :

Monsieur François BOYER

Professeur, Université de Champagne-Ardenne, Reims

Monsieur Pierre DENISE

Professeur, Université de Caen Basse-Normandie, Caen

Examineurs :

Madame Isabelle CHARY-VALCKENAERE

Professeur, Université de Lorraine, Nancy

Monsieur Philippe PERRIN

Professeur, Université de Lorraine, Directeur de Thèse

Monsieur Jean PAYSANT

Professeur, Université de Lorraine, Co-directeur de Thèse

Monsieur Jean-Yves SALLE

Professeur, Université de Limoges, Limoges

Invités :

Monsieur Michel BOULANGE

Professeur Emérite, Université de Lorraine

Monsieur Alexis LION

Docteur, EA 3450 – DevAH et CRP-Santé, Luxembourg

Contexte et objectif – Les patients âgés gonarthrosiques présentent une dégradation du contrôle postural. Les méthodes non pharmacologiques sont aujourd'hui recommandées comme option de première intention dans la gestion de l'arthrose. L'hydrothérapie fait partie des moyens de rééducation à disposition des patients âgés atteints d'arthrose du genou pour ses effets antalgiques et musculaires. Cependant, peu d'études sont actuellement disponibles concernant l'effet de l'hydrothérapie sur le contrôle postural, associée ou non à des programmes de rééducation individuels ciblés. Par ailleurs, le contrôle postural est susceptible de variations diurnes. Cette étude a eu pour objet de décrire le contrôle postural des personnes gonarthrosiques à quatre périodes de la journée, puis de comparer l'amélioration du contrôle postural au cours de deux programmes de rééducation différents recourant à l'hydrothérapie.

Matériel et méthodes - Deux-cent-quatre-vingt quatre patients souffrant d'arthrose du genou ont été inclus dans cette étude. Le bilan posturographique a été réalisé une semaine avant la cure thermique en condition simple (yeux ouverts, support stable) et en conditions sensorielles contradictoires (vision faussée ou indisponible, proprioception perturbée). Pour évaluer les variations diurnes de la stabilité posturale, les patients ont été randomisés à quatre périodes d'essai dans la journée définies comme suit : 8h-10h, 10h-12h, 13h-15h, 15h-17h. L'influence du sexe, de l'âge, de la taille, du poids et de l'indice de masse corporelle sur la stabilité posturale a été évaluée. La gonalgie a également été évaluée à quatre périodes d'essai. Par la suite, les patients ont été randomisés en deux groupes de rééducation différents pour recevoir des traitements aquatiques : groupe cure classique (hydrothérapie efficace prouvée, c'est-à-dire groupe témoin) et groupe cure active (hydrothérapie combinant des programmes de rééducation individuels ciblés). Les bilans de posturographie statique ont été réalisés respectivement à 21 jours, 42 jours et 90 jours après le début de l'hydrothérapie.

Résultats – Les tests posturographiques ont été réalisés chez 241 patients (âge moyen : $64,8 \pm 8,7$ ans ; 82 hommes). Le contrôle de l'équilibre était plus efficace l'après-midi que le matin à la fois dans les conditions simple ($p = 0,012$) et sensorielle contradictoire ($p = 0,047$), en particulier en début d'après-midi lorsque la vision et la proprioception étaient disponibles ($p = 0,026$) ou perturbées ($p = 0,019$). La gonalgie a été plus prononcée le matin que l'après-midi ($p < 0,001$). La variation diurne du contrôle postural était plus marquée chez les patients plus âgés, de poids plus élevé, de sexe masculin, dans les conditions d'essais différentes ($p < 0,05$). Les deux cures d'hydrothérapie ont eu des effets curatifs considérables sur la restauration du contrôle de l'équilibre. Une meilleure précision des oscillations posturales a été constatée dans le groupe cure active par rapport au groupe cure classique, 42 jours après le début de l'hydrothérapie ($p = 0,020$), en particulier lorsque la proprioception a été perturbée avec ($p = 0,028$) ou sans ($p = 0,025$) vision disponible. Dans les deux groupes a été observée une stabilité posturale comparable dans un délai de trois mois.

Conclusions - Cette étude a montré une meilleure stabilité posturale chez les patients atteints d'arthrose du genou, en début d'après-midi par rapport à la fin de matinée dans les situations sensorielles simples ou contradictoires. Il a été constaté que ces variations étaient également liées à l'âge, au sexe, au poids et pourraient être expliquées par la douleur articulaire fluctuante dans la journée. Considérée comme un traitement non pharmacologique applicable et recommandé, l'hydrothérapie est bénéfique à l'amélioration de la stabilité posturale chez les patients âgés atteints d'arthrose du genou, en particulier combinant un programme de rééducation individuel ciblé. Ces résultats sont importants pour de futures études visant à améliorer la stabilité posturale chez les patients atteints de gonarthrose et devraient être également pris en compte dans la gestion de la gonarthrose afin de générer des stratégies applicatives pour prévenir la survenue d'événements indésirables dans la vie quotidienne.

Mots clés : gonarthrose, hydrothérapie, contrôle d'équilibre, variation diurne, patient âgé, posturographie

Postural control in knee osteoarthritis: chronobiological variations and effects of different rehabilitation programs.

Background and Objective – Increasing evidence supports balance control impairment in elderly patients with knee osteoarthritis (OA). Current guidelines recommend non-pharmacologic methods as first-line options in the management of OA. Hydrotherapy is a beneficial training medium for rehabilitation in elderly knee OA patients. However, few indications at present are available concerning the effect of hydrotherapy combining with targeted individual rehabilitation programs to improve balance control. Meanwhile, there is limited data on diurnal variation of balance control in these patients. This study aimed to investigate postural stability in elderly patients with symptomatic knee OA during different periods in a daytime before the spa therapy, then to study the results obtained before and after hydrotherapy to compare the improvement of balance control in these patients in two different water-based rehabilitation programs.

Materials and Methods – Two-hundred and eighty-four knee OA patients were enrolled in this study. Static posturography using a vertical force platform was performed one week before spa therapy in simple (eyes open, firm support) and conflicting sensory (vision altered or unavailable, proprioception altered) conditions. To assess diurnal postural variations, patients were randomized to four testing sessions in a daytime defined as follows: 8-10am, 10-12am, 1pm-3pm, 3pm-5pm. Influence of sex, age, height, weight, and body mass index on postural stability was evaluated. Knee pain was also assessed in four testing sessions. Patients were then randomized to two different rehabilitated groups to receive spa therapies. Classic treatment group as a control received the efficacy proven spa water therapy, and active treatment group received spa water therapy combining with targeted individual rehabilitation programs. Static posturographs were carried out respectively in 21 days, 42 days and 90 days after the beginning of hydrotherapy.

Results – Posturographic tests were completed for 241 patients (mean age: 64.8 ± 8.7 years; 82 males). Balance control was more efficient in the afternoon than in the morning both in simple ($p = 0.012$) and conflicting sensory conditions ($p = 0.047$), especially in early afternoon when vision and proprioception were available ($p = 0.026$) or disturbed ($p = 0.019$). Patients' knee pain was more pronounced in the morning than in the afternoon ($p < 0.001$). Diurnal variation of balance control was more noticeable in older, heavier, and male patients under different testing conditions ($p < 0.05$). Both the water-based therapies had considerable curative effect on balance control restoration. Better postural sway precision were found in active group than classic group 42 days after the beginning of hydrotherapy ($p = .020$), especially when proprioception was interfered with ($p = .028$) or without ($p = .025$) an available vision. Both of the groups have been observed a comparable postural stability in a three-month term.

Conclusions – This study showed that better postural stability was observed in patients with knee OA in early afternoon than in late morning in simple and conflicting sensory situations. These variations appeared also to be related to age, sex, and weight and could be explained by fluctuant joint pain in a daytime. As feasible and recommended non-pharmacologic treatment, hydrotherapy is beneficial to the improvement of postural stability in elderly patients with knee OA, especially combining with targeted individual rehabilitation programs. These findings are important for future studies aiming at enhancing postural stability in knee OA patients and should be taken into account in the management of knee OA to generate applicative approaches to prevent the occurrence of adverse events in patient's daily life.

Key words: knee osteoarthritis, hydrotherapy, balance control, diurnal variation, elderly patient, posturography

École Doctorale BioSE (Biologie - Santé – Environnement)

Thèse

présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : « Sciences de la Vie et de la Santé »

par Zheng ZHANG

**Contrôle postural dans la gonarthrose : variations chronobiologiques
et effets de différents protocoles de rééducation**

le 26 Septembre 2014

Membres du Jury :

Rapporteurs :

Monsieur François BOYER

Professeur, Université de Champagne-Ardenne, Reims

Monsieur Pierre DENISE

Professeur, Université de Caen Basse-Normandie, Caen

Examineurs :

Madame Isabelle CHARY-VALCKENAERE

Professeur, Université de Lorraine, Nancy

Monsieur Philippe PERRIN

Professeur, Université de Lorraine, Directeur de Thèse

Monsieur Jean PAYSANT

Professeur, Université de Lorraine, Co-directeur de Thèse

Monsieur Jean-Yves SALLE

Professeur, Université de Limoges, Limoges

Invités :

Monsieur Michel BOULANGE

Professeur Emérite, Université de Lorraine

Monsieur Alexis LION

Docteur, EA 3450 – DevAH et CRP-Santé, Luxembourg

EA 3450 DevAH – Développement, Adaptation et Handicap. Régulations cardio-respiratoires et de la motricité
(Directeur : Ph. Perrin) – Université de Lorraine
Faculté de Médecine et UFR STAPS de Nancy

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	6
I – INTRODUCTION GENERALE.....	8
II – RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES.....	13
II.1 – L’ARTHROSE.....	14
II.1.1 – Les facteurs à l’origine de l’arthrose	14
II.1.1.1 – L’arthrose en chiffres ou épidémiologie de l’arthrose	14
II.1.1.2 – Comment se produit l’arthrose ?	15
II.1.1.3 – Les facteurs extrinsèques liés à l’incident de l’arthrose.....	16
II.1.1.4 – Les Troubles de la marche et de l’équilibre chez les patients.	17
II.1.2 – Diagnostic de l’arthrose	18
II.1.3 – Moyens thérapeutiques	19
II.1.4 – La gonarthrose.....	20
II.2 – L’HYDROTHERAPIE	22
II.2.1 – Histoire et évaluation du thermalisme	22
II.2.2 – L’hydrothérapie pour les patients souffrant d’arthrose du genou.....	23
II.3 – RAPPELS SUR L’ORGANISATION DE LA FONCTION D’EQUILIBRATION..	24
II.3.1 – Les afférences sensorielles.....	25
II.3.1.1 – Les afférences visuelles.....	25
II.3.1.2 – Les afférences vestibulaires.....	26
II.3.1.3 – Les afférences proprioceptives	27
II.3.2 – Le traitement central des informations sensorielles	27
II.3.3 – Contrôle de la posture.....	28
II.3.3.1 – Maintien de la posture	30
II.3.3.2 – Stabilisation de la posture.....	32
II.3.4 – Les conflits sensoriels.....	34
II.4 – VIEILLISSEMENT DE LA POSTURE ET DE L’EQUILIBRE.....	35
II.4.1. Système sensoriel	35

II.4.2. Intégration centrale	36
II.4.3. Effecteurs moteurs.....	37
II.5. EVALUATION DE LA FONCTION D'EQUILIBRATION	38
II.5.1. Tests cliniques	38
II.5.2. Tests posturographiques	41
II.5.3. Posturographie et vieillissement postural	42
III – MATERIELS ET METHODES	44
III.1 – PARTICIPANTS	45
III.2 – HYDROTHERAPIE	46
III.2.1 – Prise en charge thermique type « Cure classique »	47
III.2.2 – Prise en charge thermique type « Cure active »	47
III.2.3 – Déroulement des soins thermaux.....	49
III.3 – MESURES.....	49
III.3.1 – Test d'équilibre.....	49
III.3.2 – Evaluation de la douleur.....	51
III.3.3 – Sécurité des personnes.....	51
III.4 – RANDOMISATION.....	51
III.5 – MODALITES DE SUIVIS.....	52
III.6 – METHODE DE RECHERCHE.....	53
III.6.1 – Comparaison transversale.....	53
III.6.2 – Suivi longitudinal.....	53
III.7 – ANALYSE STATISTIQUE.....	53
IV – RESULTATS.....	55
IV.1 – CARACTERISTIQUES DE LA COHORTE.....	56
IV.1.1 – Sexe et âge.....	56
IV.1.2 – Taille, poids, et IMC.....	59

IV.2 – RESULTATS D’UNE COMPARAISON TRANSVERSALE AVANT LA CURE THERMALE.....	59
IV.2.1 – Comparaison globale du contrôle postural.....	59
IV.2.2 – Effet de l’âge sur le contrôle postural.....	67
IV.2.3 – Effet du sexe sur le contrôle postural.....	75
IV.2.4 – Effet du poids sur le contrôle postural.....	82
IV.3 – RESULTATS DU SUIVI LONGITUDINAL.....	88
IV.3.1 – Contrôle de corrélation et interaction.....	88
IV.3.2 – Comparaison entre les deux groupes d’hydrothérapie.....	91
 V – PREMIERE ANALYSE : CARACTERISTIQUES CHRONOBIOLOGIQUES DU CONTROLE POSTURAL DES PATIENTS SOUFFRANT D’ARTHROSE DU GENOU.....	105
V.1 – INTRODUCTION.....	106
V.2 – METHODE.....	107
V.3 – DISCUSSION.....	108
V.3.1 – Caractéristiques chronobiologiques de l’arthrose du genou.....	108
V.3.2 – Test d’équilibre.....	110
V.3.3 – Influence des caractéristiques démographiques sur le contrôle postural.....	112
<i>V.3.3.1 – Influence globale.....</i>	<i>112</i>
<i>V.3.3.2 – Influence de l’âge.....</i>	<i>114</i>
<i>V.3.3.3 – Influence du sexe.....</i>	<i>117</i>
<i>V.3.3.4 – Influence du poids.....</i>	<i>120</i>
 VI – DEUXIEME ANALYSE : COMPARAISON DES DEUX PROGRAMMES DIFFERENTS D’HYDROTHERAPIE POUR AMELIORER LE CONTROLE DE L’EQUILIBRE CHEZ LES PATIENTS SOUFFRANT D’ARTHROSE DU GENOU.....	123
VI.1 – INTRODUCTION.....	124

VI.2 – METHODE.....	125
VI.3 – DISCUSSION.....	125
VI.3.1 – Hydrothérapie appliquée à la gonarthrose.....	126
VI.3.2 – Résultats du suivi longitudinal.....	127
VI.3.2.1 – <i>Suivi à 3 semaines</i>	128
VI.3.2.2 – <i>Suivi à 6 semaines</i>	129
VI.3.2.3 – <i>Suivi à 3 mois</i>	132
VI.3.3 – Restauration de la proprioception.....	133
VI.3.3.1 – <i>Proprioception et équilibre corporel</i>	133
VI.3.3.2 – <i>Extéroception plantaire</i>	134
VI.3.3.3 – <i>Restauration de la proprioception après la cure thermique</i>	135
 VII – DISCUSSION GENERALE.....	 138
 VIII – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	 142
 IX – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	 144
 X – ANNEXES.....	 175
Annexe 1 : Communication affichée à la Journée Doctorale, 1 ^{er} avril 2014..	176
Annexe 2 : Archives of Gerontology and Geriatrics 2014 (soumis).....	178
Annexe 3 : Cahier de posturographie : Etude Nancy Thermal.....	188

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Philippe Perrin pour m'avoir accueilli dans votre laboratoire lors d'un changement du sujet de thèse et pour m'avoir guidé durant ces deux dernières années. Vos conseils, votre expérience et votre confiance m'ont permis d'aller jusqu'au bout de ce projet. Vous m'avez permis de tisser des liens sur mon étude à Nancy Thermal avec l'Université, le Service de Rhumatologie du CHU de Nancy, et la Communauté urbaine du Grand Nancy.

A Monsieur le Professeur Jean Paysant, mon co-directeur de thèse, pour votre confiance et votre bienveillance, pour m'avoir accepté dans votre équipe de recherche et pour avoir accepté de guider ce travail.

A Madame le Professeur Isabelle Chary-Valckenaere, Monsieur le Professeur Damien Loeuille et Docteur Anne-Christine Rat, pour m'avoir permis de participer à la recherche Nancy thermal et guidé dans ce travail de thèse et pour avoir révisé mon article.

A Messieurs les Professeurs Pierre Denise et François Boyer, pour avoir accepté de consacrer une partie de votre temps pour être les Rapporteurs de ce travail.

A Monsieur le Professeur Jean-Yves Salle, pour avoir accepté de juger ce travail.

A Madame le Professeur Isabelle Chary-Valckenaere, pour votre disponibilité et vos conseils avisés, pour m'avoir soutenu et guidé dans ce travail de thèse et pour avoir accepté de juger ce travail.

Au Docteur Alexis Lion, pour m'avoir soutenu et guidé mon travail au laboratoire et à Nancy Thermal, mais également dans l'écriture de mon article, et à Laetitia Peultier, Doctorante, durant nos fructueux échanges au LAPEM.

A Madame Nathalie Pierrez et Madame Sandrine Gerset, pour votre aide et vos conseils.

A l'équipe Nancy Thermal, pour vos soutiens et aides, avec mes respectueuses considérations.

A Madame Hélène Primerano, pour vos aides dans la durée de ma thèse .

A tous les patients qui ont accepté de participer à ces études.

A mes parents. Par vos conseils, vous m'avez toujours guidé dans ce que vous pensiez être bon pour mon avenir. Vous m'avez encouragé depuis toujours, sans juger, et je vous en remercie.

A Mademoiselle Limei Dong, ma copine. Je te dédie cette thèse. Tu as toujours su me supporter dans les moments délicats. Tu es en grande partie responsable du bon déroulement de ces années universitaires. De tout mon cœur, je t'en remercie.

A toute ma famille.

Au Gouvernement Chinois et à l'Ambassade de Chine en France, pour la contribution et le soutien financier de ces années universitaires.

A tous mes amis et mes collègues qui m'ont aidé par un mot, un geste et souvent bien plus, dans mon travail et mon séjour en France : Emilie, Julie, Jérôme, Sébastien, Hadrien, Julien, Badreddine, Mireille, Yingying, Yihua, Zhen, Xianqing...Je vous remercie pour tous les chemins que nous avons parcouru ensemble et pour tout ce que vous m'avez apporté ...

I – INTRODUCTION GENERALE

La gonarthrose est l'affection rhumatologique la plus fréquente. Sa répartition est universelle. Il s'agit d'une pathologie dont la prévalence augmente avec l'âge. Ainsi elle touche environ 40 % de la population de plus de 75 ans [Cicuttini & Spector, 1995]. La gonarthrose constitue un enjeu de santé publique car ses conséquences socio-économiques sont considérables. En France, elle représente 7,3 % des motifs de consultation en rhumatologie, devant les lombalgies (6,1 %) [Le Pen *et al.*, 2005].

En plus du retentissement fonctionnel important au quotidien pour les patients, l'arthrose représente une part considérable des dépenses de santé, avec des coûts directs estimés à 1,6 milliards d'euros en France en 2002 [Le Pen *et al.*, 2005]. Ces dépenses sont en voie de croissance exponentielle (+156 % par rapport à 1993), en raison notamment du vieillissement de la population et d'une augmentation de l'espérance de vie, mais aussi d'une augmentation du coût moyen de la prise en charge par patient. La gonarthrose représente le 3^{ème} site atteint en terme de fréquence après l'arthrose rachidienne et l'arthrose digitale. Son retentissement douloureux et fonctionnel est important et l'origine des douleurs multifactorielle : osseuse, inflammatoire (épanchement articulaire) et ligamentaire [Loeuille & Chary-Valckenaere, 2008].

Actuellement, il est classiquement admis que la gonarthrose se définit comme une maladie locale caractérisée par une destruction du cartilage articulaire et par des lésions des autres structures articulaires (os, ménisque, synoviale) et abarticulaires (ligaments) avoisinantes qui évoluent simultanément même si certains facteurs systémiques peuvent jouer un rôle. Cette maladie peut être aggravée par des facteurs systémiques (adipocytokines, facteurs de croissance, cytokines pro-inflammatoires), vasculaires (artériosclérose des vaisseaux nourriciers de l'os sous-chondral) et neurologiques (défaillance du système proprioceptif) [Sharma & Pai, 1997 ; Conaghan *et al.*, 2005 ; Van den Berge, 2011].

Le contrôle de l'équilibre, composante de nombreuses activités ordinaires, est assuré par des mécanismes de maintien postural et de stabilisation, nécessitant une gestion de l'orientation du corps dans l'espace par le traitement central des informations visuelles, vestibulaires et somatokinesthésiques [Massion, 1994]. Le genou agit globalement comme une structure importante neurosensorielle car il contient des ligaments et des ménisques qui fournissent des afférences via les mécanorécepteurs qu'ils impliquent, et les muscles agissant sur l'articulation [Duman *et al.*, 2012]. Lorsque l'arthrose du genou se produit, un contrôle de l'équilibre insuffisant a été observé chez les patients en comparaison à des individus sains appariés [Hassan *et al.*, 2001 ; Hinman *et al.*, 2002 ; Wegener *et al.*, 1997]. Cette observation peut être expliquée par des changements musculaires, tendineux, ligamentaires, méniscaux

entraînant des troubles de la proprioception et les limitations d'activités fondées sur la performance [Salo, 1999; Sharma, 1999 ; Diracoglu *et al.*, 2005].

Les symptômes de l'arthrose du genou, comme la douleur et la raideur matinale, suivent une fluctuation chez les patients au cours d'une journée [Levi *et al.*, 1985; Bellamy *et al.*, 2002]. Les variations diurnes du contrôle postural chez les patients arthrosiques du genou et leur éventuelle liaison avec des symptômes cliniques ont fait l'objet de peu d'études. L'appréciation de la variation circadienne de la stabilité posturale semble donc être cruciale dans la prise en charge de l'arthrose du genou, non seulement dans le cadre des activités de la vie quotidienne, mais également dans celui de la prévention de blessures graves dues à des chutes chez les personnes âgées. Plusieurs études ont examiné l'influence de l'heure de la journée sur l'équilibre postural chez les adultes plus âgés et les jeunes adultes [Jorgensen *et al.*, 2012; Gribble *et al.*, 2007]. Toutefois, à notre connaissance, la variation diurne sur le contrôle de l'équilibre chez les patients atteints d'arthrose du genou n'a été rapporté que dans une étude récente [Sørensen *et al.*, 2014].

La prise en charge thérapeutique de l'arthrose et en particulier de la gonarthrose fait appel à parts égales aux traitements médicamenteux et non-médicamenteux [Zhang *et al.*, 2008]. L'analyse de la littérature montre un effet modeste des traitements médicamenteux [Zhang *et al.*, 2008]. Les traitements non pharmacologiques, parmi lesquels le renforcement musculaire, les exercices aérobies et les soins physiques, semblent apporter un soulagement identique aux traitements médicamenteux, mais avec un niveau de preuve plus faible du fait de la complexité des interventions et de la méthodologie utilisées (absence d'étude à long terme, difficulté du double aveugle, etc...) [Zhang *et al.*, 2008]. Un certain nombre de recommandations concernant la prise en charge thérapeutique de la gonarthrose ont été publiées par des sociétés savantes multidisciplinaires à l'échelon international en 2008 [Zhang *et al.*, 2008]. A l'échelon national, la Société Française de Médecine Physique et Rééducation a également publié des recommandations sur la méthodologie à entreprendre en association avec la Société Française d'Arthroscopie [Rannou *et al.*, 2007]. En fait, si les traitements physiques, à l'exemple de la cure thermale et du renforcement musculaire, font partie de ces recommandations, aucun protocole standardisé n'a été jusque là clairement établi pour optimiser leur utilisation en pratique clinique.

Différents essais thérapeutiques thermaux de bonne qualité ont conduit à ce que le traitement thermal soit reconnu initialement dans le traitement de la lombalgie chronique [Verhagen *et al.*, 2003]. Plusieurs essais prospectifs contrôlés randomisés ont déjà évalué l'effet des traitements thermaux concernant les principales autres indications revendiquées par

la crénothérapie en rhumatologie : lombalgie chronique, coxarthrose, arthrose digitale, fibromyalgie, polyarthrite rhumatoïde, rhumatisme psoriasique, spondylarthrite, cervicalgie chronique [Konrad *et al.*, 1992 ; Elkayam *et al.*, 2000 ; Franke *et al.*, 2000 ; Buskila *et al.*, 2001 ; Van Tubergen & Hidding, 2002 ; Forestier & Françon, 2008]. Un certain nombre de ces essais concernent, au moins pour partie la gonarthrose [Wigler *et al.*, 1995 ; Sukenik *et al.*, 1999 ; Forestier, 2000 ; Guillemin *et al.*, 2001 ; Kovacs & Bender, 2002 ; Tishler *et al.*, 2004 ; Yilmaz *et al.*, 2004]. La balnéothérapie est utilisée de longue date et ses effets bénéfiques dans le traitement de nombreuses affections rhumatologiques sont de moins en moins contestés [Suomi & Collier, 2003 ; Tishler *et al.*, 2004]. Par exemple, une augmentation de la performance motrice et de la souplesse articulaire sont observées chez les sujets âgés souffrant d'arthrose [Tishler *et al.*, 2004]. L'hydrothérapie semble par ailleurs induire une diminution de la douleur et une augmentation de la capacité de marche chez les sujets souffrant de gonarthrose [Tishler *et al.*, 2004].

Bien que largement utilisée dans les programmes de rééducation pour sa capacité à mobiliser, l'impact de l'hydrothérapie sur l'activité neuromusculaire a été peu étudié. Cependant, Pöyhönen *et al.* [Pöyhönen *et al.*, 2001], dans une étude électromyographique et cinématique lors d'exercices de mobilisation du genou dans l'eau, ont mis en évidence des modifications des fonctions neuromusculaires des muscles quadriceps et biceps femoris. Par ailleurs, Suomi *et al.* [Suomi & Kocejka, 2000] ont mis en évidence une réduction des oscillations posturales plus spécifiquement selon l'axe médiolatéral après six semaines d'hydrothérapie chez des sujets âgés arthrosiques. A notre connaissance, aucune étude n'a jusqu'à présent évalué l'intérêt de combiner une phase dite sédative apportée par les soins thermaux suivie d'une approche active à type de renforcement musculaire et proprioceptif dans la gonarthrose.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse était d'estimer, avant la cure thermale, des caractéristiques chronobiologiques du contrôle postural chez les patients porteurs de gonarthrose et ensuite de comparer la performance de la stabilité posturale chez les patients, avant et après les soins thermaux réalisés selon deux programmes de rééducation hydrothérapeutique différents.

Pour répondre à cet objectif, nous avons réalisé une étude chez plus de 200 personnes âgées souffrant d'arthrose du genou. Dans un premier temps, ces patients ont effectué un bilan postural à l'aide d'une batterie de tests posturographiques. Par la suite, un suivi longitudinal de chaque patient a été réalisé à trois semaines, six semaines et trois mois après le début de la rééducation thermale, à l'aide du même test posturographique.

Ce travail comporte deux analyses. La première analyse, transversale, a eu pour objet d'étudier les résultats obtenus par les patients avant les cures thermales et de comparer les résultats mesurés à quatre périodes de la journée. Sachant que les symptômes cliniques de l'arthrose du genou fluctuent avec les rythmes circadiens, la mise en évidence de la variation de la stabilité posturale des patients dans une journée semblait intéressante. En terme de santé publique, il est important de déterminer tout d'abord si les performances du contrôle postural présentent des variations chronobiologiques, et consécutivement d'explorer le lien entre ces caractéristiques et les symptômes cliniques.

La deuxième analyse longitudinale a eu pour objet d'étudier les résultats avant et à trois étapes durant et après les cures thermales, de comparer l'amélioration de la motricité et celle de la performance neuromusculaire chez les patients au cours de deux programmes de rééducation hydrothérapique différents, et d'optimiser une prise en charge non-médicamenteuse.

Enfin, les avantages de la rééducation, sur la vie quotidienne, ont été mis en évidence. En effet, la rééducation apparaît actuellement comme un moyen efficace dans l'amélioration du contrôle postural.

II – RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

II.1 L'ARTHROSE

II.1.1 – Les facteurs à l'origine de l'arthrose

L'arthrose se caractérise par des lésions cartilagineuses, osseuses, synoviales et capsulaires. Macroscopiquement, le pincement articulaire, l'apparition d'ostéophytes et la compression de l'os sous-chondral en sont les éléments caractéristiques [Hamerman, 1989 ; Chevalier, 1998]. Le développement, l'entretien et la destruction du cartilage sont des phénomènes contrôlés par des facteurs mécaniques tout au long de la vie. La survenue de l'arthrose représente la faillite de l'un ou de tous les systèmes d'autorégulation, aboutissant à la disparition du cartilage [Setton *et al.*, 1999].

II.1.1.1 – L'arthrose en chiffres ou épidémiologie de l'arthrose

L'arthrose est une des plus vieilles maladies du monde. Elle sévit dans le règne animal et chez l'homme depuis qu'existe l'articulation, organe du mouvement. Il n'est pas aisé, malgré sa fréquence d'apparition, de connaître les caractéristiques épidémiologiques de l'arthrose. En effet, ses manifestations sont très variables en fonction de la localisation [Laoussadi, 1997]. De plus, pour une articulation donnée, certaines données varient en fonction du pays, de certains facteurs environnementaux (par exemple la fréquence de l'obésité), de la pyramide des âges... Certains organismes évaluent la fréquence et l'incidence de l'arthrose, et ce, à des fins différentes, dont celle de prédire les coûts pour la société. Ainsi, l'arthrose calque son épidémiologie sur l'espérance de vie [Baron, 2011].

En environ cinquante ans, entre 1950 et 2008, la population française a cru de 41 à 61 millions d'individus, soit un taux moyen annuel de croissance de l'ordre de 1%. Ainsi, à ce jour, 22,4 millions d'habitants sont âgés de plus de 60 ans, soit 85% de plus qu'en 2000, représentant environ 35% de la population totale. Ces données nous permettent de comprendre facilement le véritable problème de Santé Publique que représente l'arthrose [Baron, 2011].

On comprend que le nombre de patients souffrant d'arthrose a suivi l'évolution de la population, c'est-à-dire son vieillissement. Ainsi, l'arthrose touchait 4% de la population en 1900, 12,4% en 1988 et probablement près de 22% à l'horizon 2030 selon les estimations [Crubézy *et al.*, 2001]. Les données actuelles sont d'ailleurs très éloquentes, puisque l'arthrose touche plus de la moitié de la population de plus de 65 ans et 85% des sujets de plus

de 70 ans. Sa prévalence est estimée à environ 17%, et le nombre de personnes qui en souffrent en France est évalué à 10 millions [Van den Berge, 2011]. A l'âge de 55 ans, 5% des sujets présentent une gonarthrose et 3 à 4% une arthrose vertébrale [Mayoux-Benhamou, 2000]. Si cette pathologie ne représente pas en soi un risque de mortalité élevé (en dehors de phénomènes iatrogéniques liés à la toxicité de certains médicaments, en particulier les AINS), la morbidité est, en revanche, particulièrement préoccupante, notamment pour certaines localisations comme la gonarthrose [Nouijai & Maghraoui, 2007]. En fait, le retentissement de l'arthrose est important, à la fois en termes de douleur, mais également en termes de capacités fonctionnelles et de qualité de vie : les douleurs amènent les patients à la sédentarité, à une réduction de leurs capacités professionnelles et des activités de loisirs, dont le sport, le jardinage et le bricolage [Felson *et al.*, 1995]. Le potentiel évolutif de la maladie ne fait qu'augmenter l'impact de cette pathologie sur notre société. Le coût annuel de l'arthrose en France est d'environ 2 milliards d'euros, ce qui représente 1,7 % des dépenses de l'assurance maladie, chiffre qui a doublé au cours des dix dernières années. Par ailleurs, 120 000 prothèses de hanche ou de genou sont posées chaque année en France pour cause d'arthrose [Chevalier, 2005].

II.1.1.2 – Comment se produit l'arthrose ?

Toute considération du processus pathologique de l'arthrose commence par le cartilage articulaire. L'arthrose représente la phase finale commune à de nombreux processus, marquée par un événement principal : la "faillite" du cartilage articulaire et par des modifications de tous les autres constituants de l'articulation à savoir, l'os sous-chondral, la capsule, la synoviale, les ligaments, les tendons et les muscles. La plupart des idées actuelles proviennent du concept que l'arthrose résulte d'une chaîne d'événements conduisant à un remodelage anormal avec une élimination progressive des "vieux os" sur un même site et la production simultanée de "l'os nouveau" sur d'autres sites. Ce phénomène de remodelage osseux est physiologique, mais dans la maladie arthrosique, ses caractéristiques qualitatives et quantitatives, avec des phénomènes aberrants et accélérés, le rendent pathologique.

Le maintien de l'homéostasie dans le cartilage est analogue à celle de l'os ; des modèles expérimentaux ont montré la perte de la matrice du cartilage dans les zones de diminution de la pression et la nécrose des chondrocytes dans les zones de pression élevée [Martin *et al.*, 2004]. Une perte similaire de la matrice résultant de l'usure du cartilage articulaire est

observée chez l'homme dans les articulations de la hanche des patients atteints de paralysie cérébrale spastique. La mort des chondrocytes et des ostéocytes a été décrite dans l'arthrose humaine [Mitrovic & Riera, 1992 ; Sharif *et al.*, 2004]. La fibrillation et le remodelage du cartilage calcifié basal coexistent souvent, mais dans des parties différentes de la surface articulaire. Le remodelage est apparent dans les zones non portantes avec la fibrillation survenant dans les zones portantes [Gelse *et al.*, 2003].

Les microfractures du cartilage calcifié contribuent à la destruction du cartilage en permettant aux éléments de moelle vascularisés de pénétrer dans le cartilage articulaire favorisant ainsi la dissolution ou ossification dans le cartilage [Bonde *et al.*, 2005]. Le remodelage osseux sous-chondral issue de microfractures peut en lui-même promouvoir la destruction du cartilage en augmentant la rigidité de l'os sous-jacent [Farralari *et al.*, 2002]. Ainsi, la réparation des microfractures peut amener le cartilage à absorber une plus grande partie de l'énergie impactant l'articulation [Dequeker *et al.*, 2003]. La situation est bien complexe. Cependant, le remodelage défaillant est la source de beaucoup d'aspects pathologiques constatés dans l'arthrose progressive.

II.1.1.3 – Les facteurs extrinsèques liés à l'arthrose

Les études ont toujours cherché à identifier les facteurs de risque la survenue de la maladie arthrosique ou de sa progression mais pas les deux, en grande partie en raison du coût et de la logistique requise. Des études de grande envergure sont actuellement en cours pour apprécier l'incidence, la progression et le handicap dans une même étude : l'étude de Rotterdam MOST (Multicenter Osteoarthritis study) et l'OAI (Osteoarthritis Initiative).

L'effet de facteurs de risque sur chacune des variables incidence et progression, sera examinés séparément. Il est largement admis que les profils de facteurs de risque pour chacun de ces principaux résultats peuvent se chevaucher, mais ne sont pas identiques [McAlindon *et al.*, 1996]. En outre, l'ampleur de l'effet d'un facteur de risque donné peut varier en fonction du stade de l'arthrose présente dans une articulation, avant arthrose définitive (incident d'arthrose) ou après arthrose bien présente (progression de l'arthrose) [Spector *et al.*, 1994]. L'analyse conjointe de l'incidence et de la progression de la maladie arthrosique est pertinente car, si l'effet sur l'incidence est différente de celle sur la progression lorsque ces résultats sont examinés dans des études séparées, il resterait possible que la différence soit liée à des différences méthodologiques (en particulier de population) entre les études [Felson DT & Nevitt, 2004]. Une des conceptions importantes de MOST et l'OAI concerne

l'évolution de l'arthrose qui est l'une des priorités en termes d'intervention potentielle et du développement de stratégies de prévention : les cohortes de chacune de ces études comprennent des personnes souffrant d'arthrose du genou radiographique symptomatique en y associant la population générale [Felson DT & Nevitt, 2004].

Pour identifier les facteurs de risque de survenue d'arthrose, les études prospectives longitudinales, qui permettent la détermination de la relation d'un facteur de risque au départ à un développement de la maladie au fil du temps, sont bien sûr optimales, mais plus coûteuses à mettre en place. Les études transversales de la relation entre l'exposition à un facteur donné et le risque de survenue de la maladie sont plus fréquentes. Le développement de l'arthrose est souvent attribué à un environnement mécanique local d'une articulation spécifique dans un milieu systémique, conduisant à la catégorisation des facteurs de risque soit systémique ou locaux [Spector *et al.*, 1994]. Cependant, certains facteurs de risque comme l'âge, un facteur systémique qui peut jouer un rôle dans le cadre de la modification de l'environnement mécanique, montre que les catégorisations peuvent trop simplifier les effets des facteurs de risque complexes. En outre, le poids corporel, le sexe, la densité minérale osseuse, l'activité professionnelle et l'activité physique non professionnelle sont également pris en compte comme des facteurs de risque pour l'arthrose [McAlindon *et al.*, 1996]. Ces facteurs seront discutés en détail dans les chapitres suivants.

II.1.1.4 – Les troubles de la marche et de l'équilibre chez les patients

Les troubles de la marche et de l'équilibre sont fréquents chez les personnes âgées souffrant d'arthrose et sont principalement d'origine neurologique, douloureuse et psychique.

Un déficit moteur consécutif à une atteinte du système pyramidal, du nerf périphérique ou du muscle, peut avoir un retentissement sur la marche et l'équilibre [Van Gijn, 1978]. Par exemple, au cours des syndromes pseudobulbaires et des états lacunaires chez les personnes âgées, la démarche s'effectue à petit pas, le pied glissant sur le sol à chaque pas avec un ballant automatique des bras conservés. Lors de l'atteinte d'un nerf périphérique, la démarche se fait en "steppant" ; la parésie du quadriceps rendant impossible l'extension de la jambe sur la cuisse et provoquant la démarche caractéristique faite d'extension continue de la jambe atteinte et de flexion compensatrice de la cuisse sur l'abdomen pour porter le pied en avant [Patel *et al.*, 2004].

Cependant, la marche peut être compromise par des douleurs lombaires ou des membres inférieurs chez les patients souffrant d'arthrose mais sans troubles neurologiques. Les causes principales chez les patients sont les suivantes : lombosciatique, canal lombaire étroit arthrosique, coxarthrose et gonarthrose, artériopathie des membres inférieurs, pathologies podologiques [Larsson, *et al.*, 1998].

La marche précautionneuse est souvent rencontrée chez les personnes âgées, démarche prudente liée à une anxiété apparue à la suite de chutes et pouvant conduire à une véritable stasobasophobie [Fortier & Nixon, 1997].

II.1.2 – Diagnostic de l'arthrose

Le diagnostic de l'arthrose repose à la fois sur des caractéristiques cliniques et radiographiques [Altman, *et al.*, 1986]. Sur le plan biologique, cette maladie n'est accompagnée d'aucune inflammation systémique et aucun marqueur biologique articulaire n'est actuellement recommandé dans le cadre d'un suivi clinique ou pour juger de l'efficacité d'un traitement.

Les arthroses symptomatiques, avec douleur, se traduisent par une amplitude limitée du mouvement et une raideur articulaire ; les symptômes sont toutefois très variables en fonction de l'articulation affectée, de la sévérité et du nombre d'articulations concernées. La douleur est habituellement la première et prédominante plainte chez les patients souffrant d'arthrose symptomatique [Van Baar *et al.*, 1998]. La douleur de l'arthrose typique est exacerbée par l'utilisation de l'articulation et soulagée par le repos. Certains patients éprouvent une exacerbation de leur douleur avec des changements de pression barométrique. Les symptômes peuvent être d'abord apparaître aux amplitudes articulaires extrêmes et lors de leur surutilisation, et ensuite être présentes lors d'une utilisation modérée ou minimale, survenant même éventuellement au repos.

Une raideur matinale peut se produire en présence d'arthrose. Cette sensation peut être décrite comme « des articulations et des muscles périarticulaires serrés et lents à se déplacer ». Elle dure généralement moins de 30 minutes. La raideur est localisée autour de l'articulation affectée et n'est pas comparable à la raideur matinale ressentie dans certaines pathologies comme la polyarthrite rhumatoïde [Creamer *et al.*, 2000].

Les personnes souffrant d'arthrose peuvent éprouver aussi une diminution des capacités fonctionnelles au cours des activités récréatives, professionnelles et même lors d'activités de

la vie journalière (toilette, habillage, repas...). Elles peuvent être limitées par la douleur et la perte d'amplitude articulaire ; elles ont une faiblesse musculaire due à une atrophie des muscles adjacents, doivent travailler davantage pour bouger leurs articulations en raison de l'augmentation du coefficient de frottement et la surface de cartilage ayant perdu son intégrité ou en raison d'une instabilité articulaire [Croft *et al*, 2005]. En dehors de cela, l'élargissement de l'os est habituel et un défaut d'alignement peut se produire. Un crépitement articulaire peut être constaté, avec ou sans douleur. Des effusions peuvent être présentes, généralement sans chaleur ou avec un érythème [Creamer *et al*, 2000].

Au niveau arthroscopique, le cartilage des articulations en dégénérescence semble d'abord décoloré, aminci, rugueux, crevassé, ulcératif, et de vastes zones d'érosion peuvent se produire ultérieurement [Weiss & Mirow, 1972 ; Nimni et Deshmukh, 1973 ; Redler, 1974]. Cela représente une perte progressive du cartilage et constitue l'un des signes radiographiques fondamentaux de l'arthrose : la perte de l'interligne articulaire. Cette diminution est typiquement située principalement dans la région qui a été soumise à la plus forte pression. Des ostéophytes marginaux apparaissent radiographiquement comme les frontières du nouvel os sur les bords de l'articulation avec des tailles variables. Les excroissances prédominent souvent d'un côté de l'articulation, se développent d'abord dans les zones de l'espace articulaire relativement normale et ne sont généralement pas associées à la sclérose significative adjacente ou la formation de kyste.

II.1.3 – Moyens thérapeutiques

Les moyens thérapeutiques de l'arthrose sont fondés sur les connaissances physiopathologiques qui progressent chaque jour. Bien que ces progrès ne soient pas fulgurants, contrairement aux rhumatismes inflammatoires chroniques, l'arthrose semble également souffrir d'un déficit de considération tant de la part du corps médical, qui y voit une fatalité, que de celle de certains laboratoires, qui malgré le nombre de patients qui en souffrent, tardent à s'investir. En effet, on connaît de mieux en mieux les mécanismes qui aboutissent à la dégradation du cartilage, permettant ainsi d'imaginer les cibles thérapeutiques spécifiques. Actuellement, un effort tout particulier est apporté dans le domaine du diagnostic précoce de l'arthrose tant par des moyens biologiques que d'imagerie. C'est en effet dans les stades précoces de l'arthrose qu'il est important de mettre en route le traitement si l'on veut avoir une chance d'interrompre le processus de destruction articulaire.

La prise en charge thérapeutique de l'arthrose, et en particulier de la gonarthrose, fait appel à parts égales aux traitements médicamenteux et non médicamenteux [Zhang *et al*, 2008]. Ces traitements ont une action à la fois symptomatique et fonctionnelle et peuvent être évalués à l'aide d'indices algo-fonctionnels et de scores de qualité de vie. Des critères de réponse thérapeutique ont été déterminés et sont couramment utilisés [Tubach *et al*, 2005a ; Tubach *et al*, 2005b ; Bellamy *et al*, 2005].

Le but du traitement médicamenteux, dans l'arthrose, est double. Il est, d'une part, de soulager les symptômes et d'améliorer la fonction et, d'autre part, d'essayer de ralentir le phénomène de destruction cartilagineuse. L'analyse de la littérature montre un effet modeste des traitements médicamenteux (paracétamol, anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) et anti-arthrosique symptomatique d'action lente (AASAL)) [Zhang *et al*, 2008]. Sans considérer le traitement chirurgical, les traitements non pharmacologiques parmi lesquels le renforcement musculaire, les exercices aérobies et les soins physiques semblent apporter un soulagement identique à ces traitements mais avec un niveau de preuve plus faible du fait de la complexité des interventions et de la méthodologie utilisée (absence d'étude à long terme, difficultés du double aveugle, ...) [Zhang *et al*, 2008]. Un certain nombre de recommandations concernant la prise en charge thérapeutique de la gonarthrose ont été récemment publiées par des sociétés savantes multidisciplinaires à l'échelon international en 2008 [Zhang *et al*, 2008]. A l'échelon national, la Société Française de Médecine Physique et Rééducation (SOFMER) a également publié sur la méthodologie des recommandations en association avec la Société Française d'Arthroscopie [Rannou *et al*, 2007]. En fait, si les traitements physiques (cure thermale, renforcement musculaire, homéopathie, acupuncture, ultrasons...) font partie de ces recommandations, aucun protocole standardisé n'a été jusque là clairement établi pour optimiser leur utilisation en pratique clinique.

II.1.4 – La gonarthrose

La gonarthrose représente 35 % des arthroses. Elle est un véritable problème chez les personnes âgées. Sa prévalence varie selon la définition retenue (clinique ou radiologique) et selon les populations étudiées ainsi que selon leur âge. En effet, le vieillissement de la population associé à l'augmentation moyenne de l'indice de masse corporelle (IMC) des résidents des pays les plus industrialisés va dans le sens d'un risque accru de développement de la gonarthrose [Felson *et al*, 1992]. Au sein des arthroses, qui représentent le premier motif

de consultation, après les pathologies cardio-vasculaires, dans ces mêmes pays, l'atteinte du genou représente plus du tiers de celles-ci [Van Saase *et al*, 1989]. Il existe une atteinte fémoro-patellaire dans 88 % des cas, une atteinte fémoro-tibiale médiale dans 67 % des cas et une atteinte fémoro-tibiale latérale dans 16 % des cas. Elle est bilatérale dans plus de deux tiers des cas [Cooper *et al*, 2000].

Le développement de la gonarthrose peut être favorisé à la fois par des facteurs mécaniques locaux et par des facteurs systémiques. La prévalence et l'incidence de la gonarthrose augmentent avec l'âge ; de plus, elles sont plus élevées chez la femme. De nombreux travaux ont démontré l'influence de facteurs génétiques dans la survenue de la gonarthrose. L'oestrogénothérapie substitutive a un rôle plutôt protecteur. Le rôle du tabac reste encore flou ; pourtant, l'arthrose détectée par un radiologue précocément pourrait être moindre chez les fumeurs [Cooper *et al*, 2000]. Les traumatismes articulaires importants, en particulier les lésions des ligaments croisés, des ménisques, les activités professionnelles avec port de lourdes charges, l'agenouillement et l'accroupissement entraînent fréquemment une gonarthrose [Coggon *et al*, 2000]. Les activités sportives augmentent ce risque par les traumatismes articulaires et l'utilisation répétée de l'articulation.

Un certain nombre de revues de la littérature et de recommandations pour la pratique ont déjà été réalisées pour la gonarthrose, fondées sur le niveau de preuve et à défaut par consensus d'experts. Ces recommandations sont donc actualisées régulièrement selon les avancées de la recherche : recommandations de l'EULAR (European League Against Rheumatism) [Zhang *et al*, 2005], recommandations de l'ACR (American College of Rheumatology) [Roddy & Doherty, 2003], et enfin ; plus récemment de l'OARSI (Osteoarthritis Research Society International) [Zhang *et al*, 2008]. La société de Médecine Physique et Rééducation a également émis des recommandations en association avec la SFA (Société Française d'Arthroscopie) [Rannou *et al*, 2007]. Même si ces recommandations dépendent de la qualité méthodologique des études publiées qui sont parfois critiquables, elles n'en restent pas moins une référence et sont largement diffusées. L'analyse de la littérature montre un effet modeste des traitements pharmacologiques (paracétamol, AINS, AASAL). Les traitements non pharmacologiques, parmi lesquels on trouve le renforcement musculaire, les exercices aérobies et les soins physiques semblent apporter un soulagement identique à ces traitements mais avec un niveau de preuve plus faible du fait de la complexité des interventions et de la méthodologie utilisée [Zhang *et al*, 2008]. Si les traitements physiques (cure thermique, renforcement musculaire, l'homéopathie, l'acupuncture, les ultrasons...) font partie de ces recommandations, les interventions ne sont pas standardisées et

l'intérêt ou la supériorité d'une technique ou d'un programme spécifique par rapport à un autre n'a pas été jusque là clairement établi [Zhang *et al*, 2008].

II.2 – L'HYDROTHERAPIE

II.2.1 – Histoire et évaluation du thermalisme

Les eaux thermales sont utilisées depuis des millénaires pour traiter les maladies ostéo-articulaires. Les Grecs, les Gaulois et les Romains connaissaient déjà leur propriétés antalgiques et celles des "fontaines chaudes" de la Gaule. Suivit un grand déclin et même un abandon du thermalisme, avec la chute de l'Empire romain jusqu'à Henri IV, qui le fit renaître de ses cendres, en créant un Hôpital thermal militaire à Aix-lès-Bains, ville qu'il fréquentait. Puis les rois de France ont jusqu'à Louis XV fait construire à proximité des eaux thermales, en particulier à Bourbonne, à Barèges, des hôpitaux militaires où l'on soignait les séquelles des blessures des soldats [Laoussadi, 1997].

Les cures thermales jouent un rôle économique primordial dans certaines régions de France qui verraient, avec leur disparition, leur déclin. Mais au-delà de cet aspect, les cures thermales permettent, avec peu de frais pour la société, de diminuer, pour ceux qui en ont bénéficié, les traitements médicaux et les soins pendant les mois suivants. Il peut bien sûr y avoir un effet placebo, mais ce n'est absolument pas péjoratif que de le penser [Baron, 2011]. De nos jours, 420 000 cures thermales prescrites ont été autorisées par la Sécurité sociale en un an. Elles représentent pour le rhumatologue un traitement qui a sa place à côté des médicaments et des procédés orthopédiques [Laoussadi, 1997]. En effet, les patients qui bénéficient de telles cures estiment qu'ils sont écartés de leur environnement habituel, rendu un peu pesant par le quotidien, le stress... [Baron, 2011].

Différents essais thérapeutiques thermaux de bonne qualité ont conduit à ce que le traitement thermal soit reconnu initialement dans le traitement la lombalgie chronique [Verhagen *et al.*, 2003]. Plusieurs essais prospectifs contrôlés randomisés ont déjà évalué l'effet des traitements thermaux pour les principales autres indications revendiquées par la crénothérapie en rhumatologie : lombalgie chronique, coxarthrose, arthrose digitale, fibromyalgie, polyarthrite rhumatoïde, rhumatisme psoriasique, spondylarthrite, cervicalgie

chronique [Konrad *et al.*, 1992 ; Elkayam *et al.*, 2000 ; Franke *et al.*, 2000 ; Buskila *et al.*, 2001 ; Van Tubergen & Hidding, 2002 ; Forestier & Françon, 2008].

Les effets sont bénéfiques et se prolongent plusieurs mois après la cure, permettant souvent de diminuer ou d'arrêter les traitements antalgiques et anti-inflammatoires non stéroïdiens. Les arthroses lombaire et cervicale sont soulagées dans 70 à 80 % des cas. Les douleurs de coxarthrose sont calmées chez 70 % des sujets alors que celles des gonarthroses le sont chez 80 % [Hale *et al.*, 2012].

La seule complication connue est la crise thermique du huitième jour. Rare, elle est marquée par des malaises, des céphalées, des courbatures, une insomnie, l'aggravation des douleurs et parfois une poussée congestive de la ou des articulations traitées. C'est une aggravation de l'affection rhumatismale par le traitement thermal. Il faut diminuer voir arrêter les soins de cure et tout rentre dans l'ordre [Verhagen *et al.*, 2000].

En bref, les cures thermales sont un moyen médical efficace, retardant l'heure de la chirurgie et représentant un des traitements de l'arthrose généralisée.

II.2.2 – L'hydrothérapie pour les patients souffrant d'arthrose du genou

Les stations thermales à orientation Rhumatologie et séquelles des traumatismes ostéo-articulaires prenant en charge l'indication de l'arthrose du genou utilisent les vertus de la crénothérapie (eaux chaudes, plus ou moins riches en sels minéraux, eau plus froide, jets sous pression, mouvements en hydrothérapie...), les massages antalgiques et décontractants, les exercices physiques... Tous ces ateliers sont autant de bienfaits pour le patient qui voit ses douleurs diminuer, et donc sa consommation d'antalgiques suivre la même dynamique [Wigler *et al.*, 1995]. Des essais cliniques ont montré que des traitements par crénothérapie, sous différentes formes (spa, bains utilisant différentes sortes d'eau, etc.) pourraient engendrer des améliorations de la qualité de vie, de l'amplitude des mouvements, de la capacité fonctionnelle, de l'index de gravité de la maladie, ainsi que des diminutions des douleurs et de la médication [Sukenik *et al.*, 1999 ; Kovacs & Bender, 2002 ; Tishler *et al.*, 2004].

Guillemin *et al.* [2001] ont observé une amélioration de la qualité de vie à la fois chez les patients souffrant d'arthrose des membres inférieurs et chez les patients présentant des dorsalgies basses après traitement thermal. Il est bien connu que la douleur est un symptôme majeur dans l'arthrose du genou et des études récentes ont montré que la balnéothérapie a été

efficace sur la gestion de cette douleur chronique [Bender *et al*, 2005]. Une étude de suivi contrôlée en double aveugle a indiqué que le traitement thermal a été efficace dans la réduction de la douleur du genou permettant d'augmenter la durée de la marche même après trois mois [Kovacs & Bender, 2002]. Tishler *et al*. [2004] ont appliqué la balnéothérapie (30 min par jour) chez les patients souffrant d'arthrose du genou intermittente (une fois par semaine) pendant six semaines consécutives. Ils ont constaté une amélioration de la douleur et de la capacité fonctionnelle qui a duré jusqu'à la dixième semaine. Une étude de 6 mois de suivi a indiqué l'effet bénéfique de la thérapie prolongée avec trois semaines de spa chez les patients arthrosiques du genou [Nguyen *et al*, 1997]. Wigler *et al*. ont évalué les effets de la thérapie de l'eau thermale chez les patients atteints de gonarthrose. Ils ont appliqué trois régimes de traitement différents, y compris la balnéothérapie avec une illutation de boue minérale, la balnéothérapie avec une illutation de boue sans minéral et le traitement de l'eau du robinet avec l'illutation de boue sans minéral. Ils ont observé une amélioration globale de la fonction du genou chez les patients dans les trois régimes de traitement [Wigler *et al*, 1995]. De plus, il a été indiqué que, après l'hydrothérapie, il y avait une réduction de l'hospitalisation et de l'arrêt de travail, associée à une amélioration des paramètres socio-économiques. Il y avait aussi une diminution de l'aide de traitements supplémentaires tels que des thérapies physiques et pharmacologiques [Fioravanti *et al*, 2003] .

Les cures thermales jouent un rôle indéniable dans le bien-être chez les patients atteints de gonarthrose et continueront à être prescrites durablement.

II.3 – RAPPELS SUR L'ORGANISATION DE LA FONCTION D'EQUILIBRATION

Les mécanismes qui sous-tendent le contrôle de la posture et de l'équilibre sont complexes car ils mettent à contribution des structures très variées du système nerveux. La perturbation des voies ou des centres impliqués dans ce contrôle, à l'occasion de pathologies caractérisées ou du vieillissement physiologique, contribue à la genèse de troubles de l'équilibre et de chutes.

L'équilibration est une fonction sensori-motrice qui permet le maintien de l'équilibre du sujet, c'est-à-dire un état de stabilité. Le système nerveux central, plus exactement le tronc cérébral, intègre de manière continue des informations provenant de capteurs sensoriels

(vision, oreille interne, extéroception et proprioception) qui vont être comparées entre elles, mais aussi avec le vécu antérieur du sujet, de manière à élaborer une réponse motrice effectrice, visant à stabiliser d'une part le regard et d'autre part la posture [Perrin & Lestienne, 1994]. Une posture correspond au maintien d'une ou plusieurs parties du corps dans une position de référence. Chez l'homme, dont le maintien de l'équilibre est beaucoup plus instable que celle des quadrupèdes, c'est à partir de cette position debout érigée que les réactions au déséquilibre sont les plus complexes et s'opposent à la tendance naturelle à la chute. Celle-ci peut être interprétée comme un échec des réactions de correction de l'équilibre.

II.3.1 – Les afférences sensorielles

Les afférences sensorielles renseignent le sujet sur son environnement et sa situation par rapport à celui-ci et interviennent dans la perception et la régulation du maintien de l'équilibre [Amblard *et al.*, 1990]. Toutes ces informations vont être intégrées au niveau des noyaux vestibulaires qui vont permettre l'organisation de réponses motrices compensatoires [Perrin *et al.*, 1993].

Les informations sensorielles proviennent de capteurs répartis en trois catégories : visuels, vestibulaires et proprioceptifs.

II.3.1.1 – Les afférences visuelles

Les informations visuelles proviennent de la rétine et renseignent le système nerveux central sur la situation spatiale du sujet et sur l'environnement. La rétine centrale, qui permet l'analyse fine de l'image [Straube *et al.*, 1988], a une fonction extéroceptive qui assure la reconnaissance et l'identification des formes, des textures et des couleurs, l'évaluation des dimensions, l'orientation et la localisation spatiale. Elle intervient par ailleurs dans le contrôle de la position des segments du corps lors de la réalisation de mouvements de précision [Conti & Beaubaton, 1980 ; Ripoll, 1987]. La rétine périphérique, qui a une fonction proprioceptive, permet la perception du mouvement ; elle détecte les vitesses linéaire et angulaire et les trajectoires et caractéristiques spatio-temporelles du corps dans l'espace ou de l'espace autour de l'individu [Berthoz *et al.*, 1975 ; Pavard & Berthoz, 1977].

Les études faites sur le contrôle postural ont permis de faire ressortir l'importance de la vision sur les tâches aussi simples que le maintien de l'équilibre en station debout. La stabilité posturale diminue (augmentation des oscillations posturales) lorsque la vision est supprimée, aussi bien chez les jeunes adultes que chez les aînés [Teasdale *et al.*, 1991a].

II.3.1.2 – Les afférences vestibulaires

Les informations vestibulaires proviennent de récepteurs situés dans l'oreille interne à l'intérieur du labyrinthe, qui comporte une partie osseuse et une partie membraneuse. Les afférences vestibulaires informent les centres nerveux supérieurs sur la position et les mouvements de la tête par rapport à la verticale. Les récepteurs vestibulaires sont l'utricule et le saccule, qui sont sensibles aux accélérations linéaires, dont la pesanteur, et renseignent sur la verticalité [Keshner & Cohen, 1989] et les canaux semi-circulaires, au nombre de trois (latéral, vertical antérieur et vertical postérieur), situés dans des plans orthogonaux, qui sont sensibles aux accélérations angulaires (Figure 1).

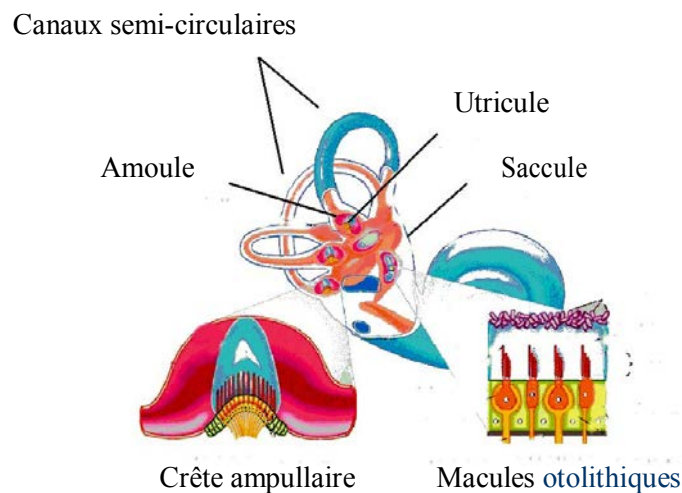


Figure 1. Schéma de l'appareil vestibulaire.

II.3.1.3 – Les afférences proprioceptives

Les informations proprioceptives informent les centres nerveux supérieurs sur la position et les oscillations du corps par rapport à la surface de support. Ils renseignent aussi sur l'état d'un segment par rapport à un autre ou par rapport au reste du corps. Les récepteurs somatosensoriels comprennent les récepteurs musculaires, articulaires, tendineux et cutanés. Le système musculaire code les informations de longueur, de vitesse et de position grâce aux fibres nerveuses Ia et II qui innervent les fuseaux musculaires. Les organes tendineux de Golgi quant à eux informent sur la tension et la raideur musculaire par l'intermédiaire des fibres Ib. Les récepteurs articulaires de Golgi renseignent sur la direction du mouvement et la perception de la position de l'articulation, les récepteurs de Ruffini détectent la vitesse angulaire et la direction du mouvement, et les capsules de Pacini renseignent sur la détection et les accélérations des mouvements.

II.3. 2 – Le traitement central des informations sensorielles

Toutes ces informations sensorielles vont être analysées et comparées au niveau de différentes structures du système nerveux central dont les principales sont le tronc cérébral, le cervelet, les ganglions de la base et les hémisphères cérébraux au niveau de l'aire motrice supplémentaire et du lobe pariétal droit.

- Les ganglions de la base et le tronc cérébral sont les centres régulateurs des ajustements posturaux. Ils agissent en anticipation (feed forward) et en boucle de rétroaction (feed back).
- Les structures hémisphériques jouent un rôle privilégié dans la représentation corporelle qui fixe le référentiel égo-centré.
- Le cervelet joue un rôle important dans la régulation du mouvement au niveau des synergies musculaires. On insiste depuis quelques années sur son rôle clef dans l'acquisition des mouvements par le cervelet, le tronc cérébral (noyaux vestibulaires, région prétéctale, noyaux oculomoteurs) et l'encéphale.

Après le traitement des différentes informations, le système nerveux central va induire, par l'intermédiaire des voies pyramidales et extrapyramidales, des réponses réflexes motrices visant à stabiliser le regard et la posture.

II.3.3 – Contrôle de la posture

Une posture est une attitude, définie par la position relative des segments corporels ainsi que par leur orientation dans l'espace. La finalité du contrôle postural est triple : participer à l'élaboration des représentations spatiales, assurer l'équilibre et fournir une base stabilisée à l'action [Pérennou & Amblard, 2001].

La posture et la coordination des mouvements seraient réalisées en fonction du schéma du corps qui serait contenu dans le cerveau [Head, 1920]. Le cerveau contiendrait alors un modèle interne des grandeurs relatives des segments corporels, de leurs relations et de leurs positions entre eux et par rapport au monde extérieur. Cette représentation interne, probablement génétiquement déterminée mais enrichie au cours du développement et de l'apprentissage de nouvelles dextérités [Bonnet & Lestienne, 2003], est appelée schéma corporel [Clément *et al.*, 1984 ; Gurfinkel *et al.*, 1988 ; Massion, 1994] et est peut-être aussi la source de la perception du corps [Gurfinkel *et al.*, 1986 ; Gurfinkel & Levik, 1991]. Une des voies classiques d'exploration du schéma corporel inclut l'application de stimulation artificielle au niveau des différents capteurs impliqués : les entrées proprioceptives peuvent être stimulées par vibration des tendons [Roll & Roll, 1988 ; Roll *et al.*, 1989 ; Roll *et al.*, 1998 ; Kavounoudias *et al.*, 2001], les entrées visuelles par l'utilisation de scènes visuelles mobiles [Dichgans *et al.*, 1972 ; Lestienne *et al.*, 1977], et les entrées vestibulaires par stimulation galvanique [Lund & Broberg, 1983 ; Gurfinkel *et al.*, 1988 ; Hlavacka *et al.*, 1995 ; Balter *et al.*, 2004a ; Balter *et al.*, 2004b, Balter *et al.*, 2004c]. L'homme posséderait donc non seulement une carte des événements externes mais aussi un modèle à petite échelle de la réalité extérieure et de ses actions possibles [Adrian, 1947]. Cette référence corporelle, véritable chaîne d'arpenteur, n'est donc pas seulement conçue comme une représentation du corps mais aussi comme un schème des actions possibles [Damasio, 1994 ; Berthoz, 1997].

L'équilibre est assuré à la fois par le maintien et la stabilisation de la posture qui doivent nécessairement respecter les lois de la physique. Ainsi, le contrôle de l'équilibre implique le maintien de l'alignement de la posture du corps et l'adoption d'une relation

verticale appropriée entre les différents segments corporels pour contrecarrer les forces de gravité et ainsi permettre le maintien de la station érigée [Massion & Woollacott, 1996]. La posture a pour objet de s'opposer aux forces gravitaires en agissant sur un complexe musculo-squelettique par un contrôle de la tonicité musculaire afin d'assurer la cohésion mécanique de l'architecture posturale composée de multiples segments corporels superposés [Perrin, 1991 ; Massion, 1998 ; Bonnet & Lestienne, 2003]. Ainsi, en résistant aux forces de gravité et aux forces de réaction résultantes par cette rigidification articulaire, le tonus musculaire postural est le principal contributeur de la station verticale. Une fois cet alignement achevé, le maintien de l'équilibre peut alors être assuré [Massion, 1998]. La position du centre de masse du corps doit donc être maintenue dans des limites spatiales spécifiques, appelées limites de stabilité, en relation avec le polygone de sustentation de l'individu [Crutchfield *et al.*, 1989]. La stabilisation posturale fait appel à des réactions de maintien ou de positionnement antigravitaire vis-à-vis desquelles le corps adopte et conserve une attitude posturale donnée. Pourtant, bien que la cohésion articulaire soit assurée par les ligaments et le tissu musculaire, les seules propriétés purement mécaniques qui confèrent aux muscles privés de leur innervation leur caractère viscoélastique ne suffisent pas pour maintenir la cohésion entre les différentes pièces osseuses. De ce fait, mettant à profit les propriétés mécaniques musculaires, le système nerveux central suscite et entretient la décharge tonique des fibres nerveuses commandant les muscles afin d'assurer un état de rigidité musculaire qui équilibre les forces mécaniques au niveau des articulations [Perrin & Lestienne, 1994]. Ainsi, le contrôle postural et ses adaptations vis-à-vis de l'environnement sont basés sur un tonus postural et sur des réflexes posturaux ou des réactions, qui ont pour origine les entrées visuelles, vestibulaires et somatokinesthésiques.

La posture est une base stabilisée à l'action. Elle constitue donc un composant clé de tout système perception-action et sert à maintenir l'orientation du corps dans l'environnement. Cette fonction d'interfaçage avec le monde extérieur permet à l'individu de percevoir et d'agir à partir d'un cadre de référence [Lestienne & Gurfinkel, 1988 ; Berthoz, 1991 ; Paillard, 1991 ; Massion, 1998]. La posture d'un individu peut alors être considérée comme le support primaire pour l'exploration de son espace environnant en termes d'analyse perceptuelle et d'action motrice. Pour assurer cette exploration, le système nerveux doit avoir une représentation précise de la position des segments corporels les uns par rapport aux autres et par rapport à l'espace. Cette représentation posturale interne, ou schéma corporel postural, fournit des informations, et est contrôlée

et modulée par des entrées multisensorielles. Sur la base de cette représentation et en accord avec la tâche perceptivomotrice à réaliser, l'orientation d'un ou de plusieurs segments corporels sera sélectionnée comme un système de référence pour la réalisation de l'action correspondante. La posture sert également de support mécanique à l'action. Elle organise le couplage entre les différents segments en fonction de la tâche et ajuste l'amplitude des articulations de façon dynamique pendant le mouvement.

II.3.3.1 – Maintien de la posture

Le maintien de la posture nécessite une activité tonique des muscles posturaux [Collet & Paillard, 2001]. La répartition du tonus postural entre les différents effecteurs n'est pas égale. Elle privilégie les muscles qui s'opposent à l'action de la pesanteur et est principalement observée au niveau des muscles extenseurs des membres, du dos et de la nuque. Le principal vecteur force de ces muscles s'oppose aux effets de la gravité, quand le sujet se tient debout. Le tonus postural dépend de l'intégrité de la boucle réflexe myotatique [Sherrington, 1906 ; Sherrington 1947]. Le réflexe d'étirement, s'opposant à toute déviation de la posture initiale [Lloyd, 1950], pourrait être l'un des mécanismes contribuant au contrôle de la posture érigée. De ce fait, on pourrait considérer le maintien de l'équilibre comme l'enchaînement d'une multitude de réflexes locaux. En réalité, le contrôle de la posture et sa coordination avec le mouvement mettent aussi en jeu des mécanismes très différents de ces boucles de réflexes. La distribution de ce tonus postural au niveau des différents segments corporels, et donc la capacité à exercer des forces antigravitaires, est régulée par une série de réflexes qui ont pour objet de maintenir la posture de référence ou d'adapter celle-ci à tout changement de position des segments [Magnus, 1924]. Par exemple, les réflexes labyrinthiques ont pour origine les otolithes, qui sont sensibles au vecteur gravitaire et qui augmentent ou réduisent le tonus postural bilatéralement ou de manière asymétrique en fonction de l'orientation de la tête dans l'espace [Roberts, 1979]. Les réflexes nucaux modulent également le tonus postural en fonction de la position de la tête par rapport au tronc [Magnus, 1924], de même que les réflexes lombaires [Massion & Woollacott, 1996]. D'autres réactions de support dont l'origine provient de récepteurs proprioceptifs ou cutanés, régulent le niveau de co-contraction des muscles des membres en fonction du poids qui doit être supporté [Lacquaniti *et al.*, 1990]. Ainsi, il existe trois grands types de réactions : la première est

d'origine tactile, dans laquelle l'activation des récepteurs cutanés de la sole plantaire engendre l'activation des muscles extenseurs des membres inférieurs, la deuxième d'origine visuelle et la troisième d'origine labyrinthique [De Kleijn, 1923 ; Magnus, 1924].

L'orientation du corps est prépondérante pour le maintien de la posture érigée et est régulée par les capteurs localisés à la fois dans la tête et dans les autres segments corporels [Massion & Woollacott, 1996]. Premièrement, les capteurs permettant la détection du vecteur gravitaire sont les capteurs labyrinthiques, en particulier les otolithes. L'orientation verticale de la tête dans l'obscurité est généralement attribuée à leur activité [De Kleijn, 1923 ; Magnus, 1924]. La distribution des otolithes dans les plans vertical et horizontal donne des informations sur l'inclinaison de la tête par rapport à la verticale à la fois dans les plans sagittal et frontal. De plus, les récepteurs otolithiques contrôlent les accélérations linéaires le long des axes vertical et horizontal et les trois paires de récepteurs canaux contrôlent les accélérations angulaires. Les récepteurs labyrinthiques jouent également un rôle important dans la stabilisation de la tête. Deuxièmement, les capteurs visuels sont utilisés pour l'orientation de l'axe du corps et sa stabilisation [Amblard *et al.*, 1985]. Ainsi, le système visuel contrôle les oscillations de la tête et du corps par rapport au monde environnant ; ce type d'information, appelé vection, influence fortement le contrôle de l'équilibre postural et la direction des réactions posturales [Dichgans *et al.*, 1972 ; Lestienne *et al.*, 1977]. Ces deux types d'information, visuelle et labyrinthique, sont localisés dans la tête et aident à l'orientation de sa position. Pourtant, du fait de l'absence de fixité de la tête sur le tronc, leur influence sur la posture et plus spécifiquement sur le contrôle postural dépend de l'évaluation de la position de la tête sur le tronc qui est assurée par les récepteurs proprioceptifs nucaux [Massion & Woollacott, 1996]. La troisième source d'information pour l'orientation vis-à-vis de la verticalité concerne les gravicepteurs [Gurfinkel *et al.*, 1981 ; Mittelstaedt, 1996 ; Paillard *et al.*, 2009] qui sont présents essentiellement au niveau du reins, du système vasculaire [Mittelstaedt, 1997] et de l'estomac [Trousselard *et al.*, 2004]. En plus de ces gravicepteurs, la stabilisation de la posture dépend principalement des informations proprioceptives, qui indiquent tout changement de position des segments les uns par rapport aux autres et, de ce fait, induisent des ajustements posturaux [Allum *et al.*, 1998]. De plus, les capteurs proprioceptifs du pied, en association avec les capteurs extéroceptifs de la sole plantaire, contrôlent l'amplitude et la direction des forces de contact exercées par le corps sur le sol.

L'adaptation statique intègre la lutte antigravitaire en programmant une activité phasique limitée aux membres supérieurs ou impliquant les segments inférieurs juste pour compenser des déséquilibres sans déplacer les appuis. En situation simple, elle peut être isométrique, c'est-à-dire ne provoquer ni allongement ni raccourcissement musculaire [Collet & Paillard, 2001].

II.3.3.2 – Stabilisation de la posture

Le contrôle postural doit souvent faire face à des situations beaucoup plus complexes que celles envisagées précédemment, dans lesquelles le sujet ne devait contrôler que des oscillations de base. Ces situations, rencontrées majoritairement dans la vie courante, nécessitent une habileté à répondre aux perturbations externes qui doit prendre en compte toutes les variations posturales en direction, amplitude et vitesse. L'équilibration suppose obligatoirement des processus phasiques anisométriques et s'appuie sur une activité motrice variée [Collet & Paillard, 2001]. L'équipe de Nashner a montré, en utilisant des déstabilisations de type translation, que le contrôle de l'équilibre était sous la dépendance de synergies neurales programmées entraînant des séquences d'activation tout au long de la chaîne musculaire posturale depuis les muscles de la cheville jusqu'aux muscles nucaux. La séquence d'activation des muscles de type distoproximal permettait la stabilisation des oscillations au niveau de l'articulation de la cheville [Nashner, 1977 ; Nashner & Woollacott, 1979 ; Nashner & McCollum, 1985]. Néanmoins, pour les situations dans lesquelles l'utilisation de l'articulation de la cheville comme régulateur des oscillations posturales est délicate, les sujets ont la possibilité d'utiliser une séquence d'activation musculaire de type proximodistal à partir de l'articulation de la hanche pour compenser les perturbations de l'équilibre postural [Horak & Nashner, 1986]. Dans ces conditions, cette activation synergique des muscles de la cuisse et du tronc étant à l'origine d'une inclinaison de la partie supérieure du corps autour de l'articulation de la hanche. La stratégie de hanche s'oppose donc à la stratégie de cheville qui est à l'origine d'une inclinaison compensatrice de l'ensemble du corps autour de la cheville.

Sous des conditions environnementales stables, un profil d'activation musculaire donne toujours la même stratégie. En revanche, lorsque ces contraintes externes changent, les synergies musculaires doivent changer pour assurer la stratégie définie [Massion & Woollacott, 1996]. Lors de changements dans les contraintes externes, la contribution des

entrées sensorielles de l'équilibre peut être modifiée en fonction des caractéristiques physiques de la perturbation posturale. Lors de perturbations de la posture de type translation, les informations vestibulaires jouaient ainsi un rôle mineur dans la stabilisation posturale par rapport aux informations somatokinesthésiques [Dietz *et al.*, 1991]. En revanche, lors de stimulations de type rotation, la stabilisation de l'équilibre était initiée par les systèmes visuel et vestibulaire en condition yeux ouverts et principalement par les canaux semi-circulaires en condition yeux fermés [Allum & Pfaltz, 1985].

La posture érigée a souvent été comparée à un pendule inversé oscillant autour de l'articulation de la cheville. Si dans certaines circonstances, notamment dans les situations posturales statiques, l'ensemble du corps peut effectivement se comporter ainsi, la posture ne peut pas être conçue d'une manière générale comme une unité fonctionnelle unique mais révèle une organisation en modules, superposés des pieds à la tête [Massion, 1993]. Chaque module est lié au suivant par une série de muscles qui disposent chacun d'une régulation centrale et périphérique visant à maintenir la position de référence du module [Rademaker, 1931 ; Martin 1967]. Ainsi, la tête est un module fondamental car elle est le support de différentes catégories de récepteurs, comme la rétine, les labyrinthes et les propriocepteurs musculaires nucaux [Berthoz & Pozzo, 1988 ; Amblard *et al.*, 1990] et sa stabilisation dans l'espace durant la locomotion est utilisée comme une plateforme de navigation permettant ainsi aux capteurs visuels et vestibulaires de signaler les changements de position par rapport à l'environnement [Berthoz, 1991]. Néanmoins, cette organisation de la posture ne repose pas seulement sur cette base modulaire mais également sur une organisation plus globale destinée à s'opposer aux effets de la pesanteur basée sur un tonus postural distribué dans les muscles antigravitaires [Massion, 1993].

Lors de l'exécution d'un mouvement volontaire vers une cible, la position et l'orientation de segments corporels servent de valeur de référence pour le calcul de la trajectoire à effectuer et pour l'exécution de cette trajectoire. Or, tout mouvement entraîne une modification de la posture qui constitue une source de déséquilibre. Ce déséquilibre sera accentué par les forces de réaction au niveau des membres mobilisés et par les forces d'inertie consécutives au mouvement intentionnel. L'intervention d'une commande parallèle exercée sur les segments posturaux semble donc nécessaire afin de minimiser leur oscillation. La nécessité de minimiser ces conséquences du mouvement peut être mise en œuvre de deux manières. La première vise à corriger l'oscillation du segment

postural causé par le mouvement à partir des messages sensoriels. Ce mode de correction est efficace, mais survient avec retard, puisqu'il ne peut se manifester qu'après le début de la perturbation. La réaction posturale induite ne peut alors qu'être imparfaite [Massion, 1993 ; Massion, 1998]. La seconde manière de minimiser la perturbation posturale est de mettre en action un ajustement postural anticipé, c'est-à-dire un ajustement qui se manifeste avant que la perturbation posturale liée au mouvement n'ait pris naissance. Par sa nature anticipatrice, l'ajustement postural pourra annuler par avance l'effet de la perturbation et par conséquent maintenir la stabilité du segment postural. Les muscles mis en jeu dans ces ajustements posturaux anticipatoires sont les mêmes que ceux utilisés pour stabiliser la posture suite à des perturbations externes [Cordo & Nashner, 1982]. Ces ajustements anticipatoires sont adaptables à la tâche à exécuter. Ceci suggère qu'il existe une présélection des muscles posturaux à utiliser dans les ajustements posturaux anticipatoires en fonction de leur capacité à former un support approprié [Massion & Woollacott, 1996]. Le but de ces ajustements posturaux anticipatoires est, dans la plupart des cas, de servir à la fois au contrôle de l'équilibre et à la stabilisation de la posture. Néanmoins, il semble exister deux types d'ajustements posturaux anticipatoires spécifiques, ceux dont le but est de stabiliser le centre de gravité durant le mouvement et ceux dont le but est de stabiliser la position des segments corporels, avec chacun une organisation centrale propre [Massion & Woollacott, 1996].

II.3.4 – Les conflits sensoriels

Ils se produisent lorsque les informations sensorielles ne se recoupent plus, ne concordent plus ou ne sont pas identifiées par la banque de données cérébrales [Sunahara *et al.*, 1964 ; Reschke *et al.*, 1988 ; Reschke *et al.*, 1998]. Il convient alors d'opérer un "réarrangement sensoriel", c'est-à-dire que le sujet devra modifier, voire supprimer, certaines de ses afférences sensorielles, afin de rester en conformité avec un modèle précédemment enregistrés et de maintenir l'équilibre, situation que certains sujets résolvent quasi instantanément et d'autres avec un retard plus ou moins important. Ceci peut conduire à un état pathologique si certaines informations sont non traitées ou systématiquement rejetées.

II.4 – VIEILLISSEMENT DE LA POSTURE ET DE L'EQUILIBRE

Le vieillissement représente l'une des situations physiologiques ou pathologiques pouvant altérer la qualité de la fonction d'équilibration [Mourey *et al.*, 1998]. Ainsi, les troubles de l'équilibre chez le sujet âgé peuvent résulter d'une atteinte d'une ou plusieurs structures de la fonction d'équilibration.

II.4.1 – Système sensoriel

Au niveau visuel, le vieillissement peut entraîner un rétrécissement du champ visuel, une baisse de l'acuité visuelle [Lafont *et al.*, 1991], de la capacité d'accommodation, de la sensibilité au contraste et de la perception fovéale et périphérique, et une diminution de la perception visuelle des oscillations spontanées du corps par rapport à l'environnement [Spooner *et al.*, 1980 ; Pitts, 1982 ; Warren *et al.*, 1989 ; Lord & Menz, 2000]. Paradoxalement, il apparaît que les sujets âgés utilisent de plus en plus leurs afférences visuelles par rapport aux autres afférences pour maintenir leur équilibre [Paulus *et al.*, 1984 ; Straube A, 1988 ; Perrin *et al.*, 1997], ce qui se caractérise par une augmentation importante de l'amplitude des oscillations posturales en conditions yeux fermés.

L'affluence d'informations sensorielles peut engendrer une instabilité posturale comme l'ont montré les études utilisant des transitions visuelles, non-vision/vision et vision/non-vision/vision [Teasdale *et al.*, 1991]. Il a été observé que contrairement aux jeunes adultes, les aînés ont une dispersion du centre de pression des pieds plus importante au passage d'une situation de non-vision/vision plutôt que lors de la transition vision/non-vision. Dans cette expérimentation, l'affluence des informations visuelles après la privation prolongée des informations visuelles déstabilise les aînés puisque la réintégration des informations visuelles nécessite une nouvelle configuration du système postural [Teasdale *et al.*, 1991].

Au niveau vestibulaire, le vieillissement entraîne une diminution de l'utilisation des informations issues de l'oreille interne qui serait due à une dégradation des structures vestibulaires [Johnsson & Hawkins, 1972]. Il est responsable d'une diminution de la sensibilité du vestibule au cours des mouvements rapides complexes et d'une baisse de la capacité à résoudre des conflits sensoriels. Histologiquement, il se caractérise par la réduction du nombre des cellules ciliées et des fibres vestibulaires myélinisées.

Néanmoins au niveau vestibulaire, le vieillissement n'est responsable de troubles de l'équilibration que dans les conditions d'exclusion des autres afférences proprioceptives ou visuelles [Woollacott *et al.*, 1986].

Au niveau proprioceptif, le vieillissement entraîne une détérioration des afférences proprioceptives avec une baisse de la sensibilité vibratoire et kinesthésique au niveau des membres inférieurs [Schiano *et al.*, 1998], et une baisse de la sensibilité profonde [Skinner *et al.*, 1984 ; Perrin & Lestienne, 1994]. Il se traduit également par une hyporeflexivité ostéotendineuse des membres inférieurs et une diminution de la sensibilité articulaire positionnelle [Nevitt *et al.*, 1991].

Par ailleurs, en raison de l'arthrose, les mécanorécepteurs, notamment des articulations cervicales, situés dans les capsules et les ligaments des articulations, perdent en efficacité [Alpini *et al.*, 2004]. Enfin, l'altération de la qualité des muscles liée au vieillissement entraîne une diminution de l'efficacité des propriocepteurs musculo-tendineux.

L'ensemble de ces anomalies aboutit à une diminution des stimuli ainsi qu'à une détérioration des réflexes posturaux. Ainsi, chez les personnes âgées, le temps pris pour générer un moment de force suffisant au niveau de la cheville, nécessaire à l'exécution d'un pas de stabilisation rapide après une perturbation posturale, est plus long que chez les jeunes adultes [Thelen *et al.*, 1996].

De plus, avec l'âge, l'inclinaison initiale permettant de retrouver la stabilité par l'exécution d'un pas est moins importante que chez les jeunes adultes [Thelen *et al.*, 1997]. Les aînés prennent plus de temps pour générer un moment équivalent à celui des jeunes adultes pour contrer la perturbation et exécuter un pas de stabilisation. La diminution du temps disponible pour générer une réponse suffisante chez les aînés serait responsable d'une moins bonne restabilisation dans cette population [Thelen *et al.*, 1996]. Afin de déterminer le seuil de sensibilité au niveau des flexions plantaires et dorsales, des jeunes adultes et des personnes âgées ont été soumises à une rotation de la cheville à l'aide d'une plate-forme servo-assistée [Thelen *et al.*, 1998]. Les résultats de cette étude ont montré que les aînés avaient un seuil de détection plus élevé que les jeunes adultes tant en flexion plantaire qu'en dorsiflexion.

II.4.2 – Intégration centrale

Au niveau des centres intégrateurs, le vieillissement physiologique va altérer, entre autres, les voies motrices centrales et périphériques, et aura pour conséquence un allongement des temps de latence des réponses motrices, que se soit lors de tâches simples ou plus complexes [Inglin & Woollacott, 1988]. Le sujet âgé peut voir ainsi son risque de chute augmenter, principalement dans les situations dites de « double tâche » [Lundin-Olsson *et al.*, 1997]. Dans ces situations, les sujets doivent contrôler leur posture pendant l'exécution d'une autre tâche mentale, ce qui les obligent à orienter leur attention sur le contrôle postural et sur l'autre tâche [Woollacott & Shumway-Cook, 2002]. De nombreux auteurs ont rapporté une dégradation de la qualité du contrôle postural lorsque le sujet âgé doit gérer en même temps une tâche mentale [Andersson *et al.*, 1998 ; Jamet *et al.*, 2004 ; Deviterne *et al.*, 2005].

De plus, plusieurs études ont montré que les situations de conflits sensoriels, dans lesquelles les informations vestibulaires représentent la seule source fiable d'information sensorielle pour l'équilibre, entraînaient des difficultés dans le maintien de la position debout et augmentaient le nombre de pertes d'équilibre chez les personnes âgées [Manchester *et al.*, 1989 ; Teasdale *et al.*, 1991 ; Wolfson *et al.*, 1992].

Le vieillissement va entraîner des changements dans la transmission et le traitement central des informations relatives au déséquilibre. La détection de la phase initiale de celui-ci est vraisemblablement retardée par la baisse de sensibilité des récepteurs, le système nerveux central met plus de temps à organiser la réponse motrice et celle-ci met plus longtemps à se développer, ce d'autant plus que la personne aura une vie plus "sédentaire" et que le réajustement postural n'aura pu être "préparé" suffisamment à l'avance [Stelmach & Worringham, 1985]. La conséquence est une durée trop longue entre le début du déséquilibre et la stabilisation de celui-ci, se traduisant par une chute lorsque le temps de réponse dépasse un seuil critique.

II.4.3 – Effecteurs moteurs

Au niveau des organes effecteurs, les effets du vieillissement se traduisent par une diminution de l'amplitude du jeu articulaire, en particulier de la cheville et de la hanche [Strubel & Martin-Hunyadi, 1991], qui altère les mouvements de rattrapage, et par une diminution de la force musculaire [Evans & Campbell, 1993 ; Evans, 1995], qui entraîne des réactions motrices moins efficaces lors de déséquilibres.

Le vieillissement est également à l'origine d'une sarcopénie et d'une modification de la composition des muscles avec apparition des adipocytes dont les effets délétères sur les performances musculaires peuvent être aggravés par la sédentarité et la dénutrition [Fitzgerald, 1985 ; Lexell, 1995 ; Gallagher *et al.*, 2000 ; Bos *et al.*, 2001]. Enfin, le système ostéo-articulaire subit également les effets néfastes de l'avancée en âge en raison de l'arthrose, de l'ostéoporose et de la sédentarité [Ettinger, 2003 ; Alpini *et al.*, 2004].

II.5 –EVALUATION DE LA FONCTION D'EQUILIBRATION

II.5.1. Tests cliniques

Chez les sujets âgés, en particulier ceux qui ont été victimes d'une ou de plusieurs chutes, une évaluation précise de la fonction d'équilibration est très importante. Pour évaluer les capacités posturales, ainsi que la mobilité des personnes âgées, les cliniciens utilisent une série de tests, les plus courants étant l'appui unipodal [Vellas *et al.*, 1997a], le "Get Up and Go" [Mathias *et al.*, 1986] ou le « Timed Up and Go » [Podsiadlo & Richardson, 1991], le "Fonctionnal Reach" [Duncan *et al.*, 1990], le « Tinetti » [Tinetti, 1986], l'échelle d'équilibre de Berg [Berg *et al.*, 1992] et le Test Moteur Minimum [Mourey *et al.*, 2005]. Ces tests permettent d'estimer l'habileté à garder une posture stable, les stratégies d'approche utilisées, et de faire ressortir les difficultés motrices. Les résultats de ces tests servent à cibler les programmes de rééducation, s'ils ont lieu, ou tout simplement d'informer sur les détériorations et les améliorations du système musculo-squelettique (adapter l'environnement du patient à ses contraintes physiologiques).

Le test de l'appui unipodal consiste à rester en équilibre sur un pied pendant au moins 5 secondes. Les auteurs de ce test [Vellas *et al.*, 1997b] ont montré que les patients qui ne pouvaient pas maintenir la position unipodale pendant cinq secondes avaient deux fois et demi plus de risque de faire une chute grave par rapport à ceux qui réussissaient le test. De plus, dans une analyse transversale de cette étude, l'équipe de Vellas a montré qu'un âge supérieur à 71 ans, qu'une perte d'autonomie dans les oscillations et qu'un état de santé fragile étaient des facteurs indépendants déterminants d'un test unipodal anormal [Vellas *et al.*, 1997a].

Le « Get Up And Go » [Mathias *et al.*, 1986] consiste à se lever d'une chaise, marcher sur trois mètres, faire un tour et revenir à la ligne de départ. La performance et la qualité d'exécution des séquences sont notées selon une échelle de 1 à 5 ; 1 étant normal et 5 étant très anormal. Les grades 2, 3 et 4 correspondent à des anomalies posturales et de marche plus ou moins difficile à objectiver : lenteur anormale, hésitations, démarche titubante, mouvements anormaux du tronc ou des membres inférieurs. Il faut souligner que la validation de ce test n'a été faite que sur 40 sujets âgés hospitalisés et sa valeur prédictive dans l'estimation du risque de chute n'a jamais pu être établie [Wolfson *et al.*, 1990 ; Anacker & Di Fabio, 1992].

Une variante de ce test est le « Timed Up and Go » [Podsiadlo & Richardson, 1991] qui consiste à chronométrer la performance. Les sujets qui réalisent le test en moins de 20 sec pour une distance de 5 m [ou en moins de 12 secondes pour une distance de 3 m], sont totalement indépendants [possibilité de sortir dehors avec sécurité] ; les sujets qui réalisent le test en 30 sec ou plus pour une distance de 5 m sont dépendants physiquement pour l'ensemble des actes de la vie courante ; les sujets qui réalisent le test en plus de 20 sec et moins de 30 sec ont des aptitudes de mobilité incertaines. Plusieurs études prospectives ont montré que ce test n'avait pas de valeur prédictive dans l'estimation du risque de chute chez des personnes âgées [Boulgarides *et al.*, 2003 ; Lin *et al.*, 2004 ; Large *et al.*, 2006]. Ce test semble plus approprié pour les personnes âgées fragiles ou utilisant une aide à la marche, alors que l'appui unipodal est plus adapté pour les personnes âgées en bonne santé apparente [Lin *et al.*, 2004].

Le « Functional Reach » [Duncan *et al.*, 1990] est un autre test d'équilibre, simple, qui ne nécessite qu'une règle graduée. Il évalue la limite de stabilité vers l'avant d'un sujet qui étend volontairement le bras le plus loin possible. On mesure alors la distance entre la position du bras tendu debout vertical, et la position maximale penchée vers l'avant, sans décoller les talons. Ce test permet de mesurer cliniquement les limites de la stabilité. Son utilité pour dépister les personnes âgées à risque de chute reste très modeste [Wallmann, 2001].

Le test de Tinetti [Tinetti, 1986] permet de mettre en évidence les problèmes d'équilibre, de mobilité et la probabilité des chutes. Il est séparé en deux catégories. Les tests d'équilibre et les tests de marche qui sont chacun subdivisés en plusieurs tâches. Ce test repose sur 13 tâches posturales cotées selon trois niveaux (normal, adaptatif et anormal) et neuf situations au cours de la marche cotées selon deux niveaux (normal et anormal). Il existe une version simplifiée du test de Tinetti reprenant sept items les mieux

corrélés au risque de chute [Tinetti *et al.*, 1988] cotés selon deux niveaux (oui, non) pour un score total de 0 à 7. Selon les auteurs, pour un score de 0 à 2, il n'y a pas de risque de chute, le risque relatif de chute est de 1,4 pour un score de 3 à 5 et de 1,9 pour un score de 6 à 7. Bien que la valeur prédictive du test de Tinetti dans le dépistage des chutes soit faible, selon Perennou, dans une récente revue de la littérature [Perennou *et al.*, 2005], ce test paraît être essentiellement un outil pédagogique de bonne qualité permettant d'évaluer avec une grande précision sémiologiques les anomalies de l'équilibre et de la marche du sujet âgé.

L'échelle d'équilibre de Berg [Berg *et al.*, 1992] utilise 14 items différents avec des scores variants de 0 à 4. Il est plus long et plus complet que les tests précédents. Il est également souvent utilisé dans la littérature. Il évalue la qualité de l'équilibre au cours de 14 situations posturales statiques et dynamiques. Chaque item est coté selon cinq niveaux de 0 (aucune difficulté d'exécution) à 4 (incapacité d'exécuter). Le score total varie de 0 à 56. L'intérêt de l'échelle de Berg pour le dépistage des personnes âgées à risque de chute est discuté. Une étude prospective a trouvé qu'une valeur seuil de BBS (Berg Balance Scale) < 45 avait une spécificité excellente (96 %) pour la prédiction des chutes, mais la portée de ce résultat était limitée par une sensibilité médiocre (53 %) [Bogle Thorbahn & Newton, 1996]. Dans une étude prospective avec suivi longitudinal d'un an, Boulgaries *et al.* [Boulgaries *et al.*, 2003] n'ont pas montré de valeur prédictive à ce test pour une population de 65 à 90 ans.

Le « stop walking when talking » test semble également être un moyen de dépistage des sujets à risque. Cette épreuve consiste, lors de la marche, à converser avec le sujet. L'attention nécessaire à la poursuite de la conversation impose l'arrêt de la marche pour certains d'entre eux. Ces sujets présentent un risque de chute plus important dans les six mois suivant [Lundin-Olsson *et al.*, 1997].

Le Test Moteur Minimum [Mourey *et al.*, 2005] est un test proposé pour évaluer la rééducation posturale de sujets âgés fragiles. Il comporte 20 items qui apprécient les aptitudes motrices en positions couchée, assise, debout et à la marche. Chaque item est coté 1 ou 0 selon que l'exécution de la tâche est possible ou selon que la réponse à l'item est oui ou non. Ce test prend également en compte la notion d'une ou plusieurs chutes au cours des six derniers mois et la capacité à se relever du sol. Il est particulièrement utile lorsque la réalisation du test de Tinetti est impossible. Comme beaucoup de tests d'équilibre, le Test Moteur Minimum ne prédit pas bien le risque de chute.

II.5.2. Tests posturographiques

La technique des plates-formes de force est l'une des méthodes les plus reconnues pour évaluer l'équilibre postural de manière quantitative. Dans la plupart des applications, les mesures sont basées sur l'enregistrement des forces verticales appliquées au niveau des angles de la plate-forme pendant que le sujet est debout sur la plate-forme, cependant dans certaines applications, ce sont les forces horizontales qui sont enregistrées. A partir des forces verticales exercées sur chaque capteur placé sous trois ou quatre angles de la plate-forme, une valeur peut être dérivée et va représenter la localisation géométrique de l'ensemble des forces exercées sur la plate-forme. Ce point est appelé centre de pression des pieds (CPP), et l'ensemble des séries des valeurs du CPP représente les mouvements du centre de masse et l'effet des forces utilisées pour maintenir l'équilibre durant l'enregistrement.

La conception des plates-formes de force a évolué avec le temps. Les premières plates-formes de posturographie utilisées étaient des plates-formes de force statiques permettant d'étudier la station debout immobile. Cette dernière a beaucoup été étudiée en France par Gagey et Weber qui ont précisé la valeur des paramètres de base dans la population de référence : surface des oscillations du CPP extrêmement réduite, proche de 1 cm², CPP situé en arrière et à droite du centre de la plate-forme dans les conditions de normalisation proposées, absence de pic fréquentiel et des fréquences d'oscillation basses inférieures à 0,5 Hz, faible intercorrélation entre les deux paramètres d'oscillation antéro-postérieur et latéral et augmentation de la surface d'oscillation avec la fermeture des yeux [Gagey & Weber, 1995].

Les limites de l'utilisation des plates-formes de force statiques ont conduit, depuis les travaux initiaux de Nashner [Nashner & Berthoz, 1978], à proposer l'utilisation de plates-formes dynamiques, pouvant être couplées avec des enregistrements électromyographiques et cinématiques permettant à la fois d'induire un déséquilibre par rotation ou translation de la plate-forme. Ces nouvelles technologies permettent ainsi de mieux préciser les caractéristiques de l'équilibre en termes de réactions, de référentiels et de stratégies d'équilibration. Certains auteurs ont proposé l'utilisation de plates-formes de force dans l'évaluation dynamique de l'équilibre en modifiant les conditions d'appui au sol : mesure de l'équilibre en appui unipodal [Bohannon *et al.*, 1984], lors de tests évaluant les limites de stabilité [Schieppati *et al.*, 1994] ou sur un support de mousse

[Shumway-Cook & Horak, 1986]. L'évaluation des réponses motrices en situations de déprivation sensorielle (yeux fermés, support mousse) permet une exploration des différentes afférences périphériques mises en jeu dans l'équilibration. L'un des outils les plus aboutis pour étudier la posturographie dynamique est l'EquiTest (EquiTest, NeuroCom International, Inc., Clackamas, OR) qui est une plate-forme mobile que l'on peut paramétrer en stabilisant le support ou l'environnement visuel et qui permet à partir des réponses aux translations du support de préciser les stratégies utilisées par le sujet et d'orienter le diagnostic des troubles de l'équilibre vers la déficience d'une des entrées sensorielles (proprioception, vision, vestibule).

II.5.3. Posturographie et vieillissement postural

Plusieurs études ont montré que les tests d'équilibre réalisés sur les plates-formes de force permettent de différencier l'équilibre postural chez les personnes jeunes, les personnes d'âge moyen et les personnes âgées [Era & Heikkinen, 1985]. Dans une étude prospective avec un suivi longitudinal de trois ans, Baloh *et al.* [Baloh *et al.*, 1998] ont également objectivé, à l'aide de tests réalisés sur une plate-forme de posturographie, une dégradation du contrôle postural chez des personnes âgées ayant un âge moyen de 82 ans au cours des trois années de suivi.

Sur plate-forme de force statique (examen stabilométrique), le vieillissement se caractérise par une augmentation des oscillations posturales pouvant être due à une perte de la sensibilité discriminative au niveau des pieds. Des études ont également montré une augmentation du coefficient de Romberg (rapport des oscillations yeux fermés/yeux ouverts) chez les sujets âgés par rapport à des sujets jeunes [Pyykko *et al.*, 1988 ; Lafont *et al.*, 1991], reflétant ainsi l'importance des informations visuelles avec l'avancée en âge. Dans ces conditions, le sujet âgé privilégie les afférences visuelles, plus que les autres afférences proprioceptives ou vestibulaires [Straube *et al.*, 1988]. Le concept de « visuodépendance » est alors avancé.

L'étude de l'équilibre dynamique sur plate-forme lors du test de mouvement de bascule rapide a montré un allongement des temps de latence chez les sujets âgés [Perrin *et al.*, 1997]. Lors des épreuves dynamiques avec oscillations sinusoïdales lentes du support, les sujets âgés privilégient l'utilisation de la stratégie de hanche, cela apparaît donc comme une réponse à la perte des afférences périphériques des membres inférieurs

[Nashner & Peters, 1990 ; Perrin *et al.*, 1997]. Toutefois, il ne faut pas exclure la participation d'autres paramètres biomécaniques comme la diminution de la force du *Tibialis Anterior* et les rétractions du tendon d'Achille communément observées lors du vieillissement, qui diminuent également la capacité de réaliser une flexion dorsale de la cheville et donc d'utiliser la stratégie de cheville.

De plus, des études ont montré que les personnes âgées avaient des oscillations posturales plus élevées et perdaient plus fréquemment leur équilibre que les sujets jeunes dans les situations de privation sensorielle et plus particulièrement dans les conditions de conflits sensoriels, où les informations visuelles et proprioceptives étaient absentes et/ou faussées [Manchester *et al.*, 1989 ; Teasdale *et al.*, 1991a ; Wolfson *et al.*, 1992].

III – MATERIELS ET METHODES

III.1 – PARTICIPANTS

Une information sur l'étude Nancy Thermal a été faite auprès des médecins généralistes et rhumatologues (courrier et/ou réunion d'information) dans les 6 mois précédant le début de l'étude. L'information des patients est réalisée par voie de presse (communiqué de presse régionale et radios locales), ainsi que par une campagne d'affichage dans les cabinets de kinésithérapeutes, les pharmacies, les laboratoires biologiques et dans les salles d'attente des médecins généralistes et rhumatologues. Une centrale d'appel est mise en place pour assurer et planifier les prises de rendez-vous auprès des médecins investigateurs.

Les patients, avertis par voie de presse et d'affiche et souhaitant participer à l'essai, ont pris rendez-vous par téléphone auprès de la centrale d'appel (numéro vert mis en service en décembre 2011). Ce premier rendez-vous correspondait à leur visite de sélection. Les médecins généralistes et rhumatologues de ville informés par lettre ou réunion d'information ont pu adresser leurs patients via la centrale d'appel.

Les critères d'inclusion des patients porteurs d'une gonarthrose étaient comme suit :

- répondant aux critères de gonarthrose de l'American college of Rheumatology ;
- uni ou bilatérale ;
- symptomatique : l'échelle visuelle analogique (EVA) douleur > 3 sur une échelle de 0 à 10 ;
- gonarthrose fémoro-tibiale radiologique $\geq$ stade 2 de la classification de Kellgren et Lawrence.

Les critères retenus étaient ceux de l'ACR [Altman *et al.*, 1986]

Douleur des genoux et au moins un des trois critères suivants :

- âge > 50 ans ;
- raideur matinale < 30 minutes ;
- crépitements articulaires,

et présence d'ostéophytes à la radiographie du genou

(Sensibilité 94 %, spécificité 87 %),

- patient ayant donné son consentement écrit ;
- examen médical préalable.

Les critères de non-inclusion des patients porteurs d'une gonarthrose étaient comme suit :

- arthrose fémoro-patellaire isolée ;
- indication de remplacement prothétique ou de chirurgie dans l'année ;
- contre-indication à la cure thermique : déficit immunitaire, insuffisance cardiaque modérée à sévère, cancer, infection, plaie cutanée... ou intolérance prévisible aux soins thermaux (intolérance à la chaleur, aux bains, à la piscine...) ;
- autre maladie de l'appareil locomoteur (rhumatismes inflammatoires, lombo-radiculalgie invalidante, déficit moteur des membres inférieurs) ;
- comorbidités sévères ;
- syndrome dépressif sévère, psychose ;
- traitements antérieurs du genou :
 - massages, physiothérapie, acupuncture depuis moins de 1 mois ;
 - changement du traitement anti-inflammatoire non stéroïdien (AINS) depuis moins de 5 jours ;
 - changement d'antalgiques depuis moins de 24 heures ;
 - modification du traitement médicamenteux à visée anti-arthrosique (AASAL) remontant à moins de trois mois ;
 - infiltration intra-articulaire de l'articulation cible de moins de un mois pour les corticoïdes et de moins de 3 mois pour la viscosupplémentation ;
- kinésithérapie ou rééducation fonctionnelle depuis moins d'un mois ;
- cure thermique dans l'année précédente.

III.2 – HYDROTHERAPHIE

Dans une publication récente, Forestier *et al.* ont montré, dans l'étude multicentrique randomisée « Thermarthrose » l'efficacité symptomatique et prolongée à 6 mois sur la douleur en fonction d'un protocole standardisé de cure thermique dans la gonarthrose [Forestier *et al.*, 2010]. Cette cure standardisée comportait 4 soins thermaux : (1) hydrojets (individuel) ; (2) massages/kinésithérapie (individuel) ; (3) applications de boue (individuel) ; (4) balnéothérapie (collectif) répétés 6 jours sur 7 pendant 3 semaines. Les résultats de cette étude montraient un effet bénéfique de la cure évalué de façon globale. Cette action thérapeutique dont la philosophie a reposé sur la réalisation de soins en décharge pour une articulation portante, passe essentiellement par leur action sédative et anti-inflammatoire locale.

Toutefois ce type de prise en charge a été parfois considéré comme fatigant pour les patients qui se plaignaient de son intensité et des difficultés à disposer de disponibilité. Une prise en charge en externe, moins intensive à raison de 3 soins par semaine à la place de 6 mais sur un temps plus long associant cure standardisée et rééducation fonctionnelle, pourrait être une alternative intéressante au traitement classique actuel. Après une phase de repos, il paraît logique de reconditionner le patient à l'effort en corrigeant les troubles proprioceptifs et les insuffisances musculaires sous-jacentes, dans le but de prolonger l'efficacité à long terme de la cure thermique. Ainsi, nous avons conçu deux programmes de rééducation différents : la cure classique et la cure active.

III.2.1 – Prise en charge thermique type « Cure classique »

Le protocole de la cure classique a repris stricto sensu celui validé récemment dans l'étude « Thermarthrose » soit quatre soins thermaux par jour, 6 jours sur 7 pendant 3 semaines (18 séances au total) [Forestier *et al.*, 2010].

Les quatre soins thermaux étaient : (1) Hydrojet à 37 °C pendant 15 minutes en séances individuelles ; (2) Massages sous jet à 38 °C par un kinésithérapeute pendant 10 minutes ; (3) Illutation (applications de boue) à 45 °C pendant 15 minutes ; (4) Mobilisation en piscine à 32 °C en séances collectives (groupes de 6) pendant 25 minutes.

III.2.2 – Prise en charge thermique type « Cure active »

Cette cure a associé successivement 3 semaines de soins thermaux selon le schéma Thermarthrose (4 soins/séances) à raison cependant de 3 séances par semaine (9 séances) et 3 semaines de rééducation/kinésithérapie active à raison de 3 séances par semaine (9 séances) soit une durée totale de 6 semaines pour un total de 18 séances. Cette démarche a visé à répondre aux objectifs suivants : prolonger l'indolence acquise en phase 1, améliorer la mobilité articulaire et le fonctionnement musculaire, améliorer la proprioception et développer des attitudes et un comportement adaptés.

La première phase de soins thermaux comprenait les 4 soins suivants à raison de 3 séances par semaine pendant 3 semaines, soit 9 séances : Hydrojet à 37 °C pendant 15 minutes en séances individuelles ; Massages sous jet à 38 °C par un kinésithérapeute pendant 10 minutes ; Illutation (applications de boue) à 45 °C pendant 15 minutes ;

Mobilisation en piscine à 32 °C en séances collective (groupes de 6) pendant 25 minutes [Forestier *et al.*, 2010].

La seconde phase de soins a été définie en collaboration avec l'Ecole de Kinésithérapie. La prise en charge pratique était assurée par des étudiants en Masso-kinésithérapie sous le contrôle d'un masseur kinésithérapeute professionnel diplômé. Elle se déroulerait sur 3 semaines à raison de 3 séances par semaine, soit 9 séances. Les soins de rééducation comportaient : (1) un travail préparatoire des membres inférieurs basé sur de la physiothérapie chaude locale, le sujet étant en décubitus dorsal strict avec des coussins sous la tête et sous le creux poplité du côté non massé, des massages manuels à type d'effleurage complet du membre inférieur, des pressions glissées ou pressions statiques étagées de la racine du membre inférieur jusqu'au pied inclus et retour à visée circulatoire sur le système veineux profond et superficiel, des manœuvres décontracturantes des muscles de la cuisse, du mollet et du pied suivis de pressions glissées circulatoires. Ce soin a été complété de palpé-roulés dans la région péri-articulaire du genou et d'un effleurage global et avait une durée totale de 20 minutes ; (2) un travail personnalisé constitué d'étirements musculo-tendineux adaptés au bilan initial, réalisés par paliers ou en continu, en manuel ou par posture, suivi d'un renforcement musculaire de préférence statique ou en chaîne, toujours adaptés au bilan initial et effectués contre résistance manuelle, de type diagonale spirale de Kabat, ou instrumentale, de type résistance élastique, analytique ou globale. Ce soin avait une durée totale de 30 minutes ; (3) un travail global, proprioceptif et fonctionnel constitué de tests et d'exercices d'équilibre yeux ouverts et yeux fermés, sur plate-forme de rééducation SATEL (Blagnac, France) et sur tapis et d'un travail de la locomotion sur parcours de marche standardisé. Ce soin avait une durée totale de 20 minutes ; (4) une séance éducative collective selon un programme prédéfini comportant en début de cure, des informations sur la maladie arthrosique, la prise en charge thérapeutique médicamenteuse et non médicamenteuse, les facteurs de risque (activités et poids), le chaussage et les aides techniques, des conseils d'hygiène de vie et d'exercices à faire à la maison, et la remise en main propre d'un livret de suivi. Au milieu de la cure, ces séances sont effectuées autour de questionnaires de type questions-réponses, d'apprentissage d'auto exercices et d'apprentissage d'attitudes et de gestes à pratiquer dans des situations à risque. En fin de cure, ces séances sont effectuées avec une autocorrection des exercices et des gestes ainsi que la mise en place d'un programme d'activités physiques à poursuivre. La prise en charge en kinésithérapie a été individualisée et adaptée (type et intensité des exercices) au

bilan kinésithérapique initial selon les recommandations de la SOFCOT (société de chirurgie orthopédique) et de la SOFMER (société de médecine et rééducation) de 2007.

III.2.3 – Déroulement des soins thermaux

Les soins thermaux ont été réalisés dans les locaux de la piscine ronde Nancy Thermal, Esplanade Jacques Baudot, 43 rue de Sergent Blandan, 54000 Nancy. Un espace dévolu à cette étude a été entièrement mis aux normes par la société thermes experts EUROSPA. Cet espace comporte un accueil, une salle d'attente, un local personnel, un cabinet médical, un vestiaire pour les curistes, une salle de détente, une salle de kinésithérapie et de rééducation, deux salles de douche, deux cabines de bains, deux cabines d'affusion, une cabine à jet d'eau, une centrale d'hygiène, un local de fabrication de la boue, un local laboratoire, des toilettes et un local à linge.

Les soins thermaux ont été assurés par des professionnels du thermalisme et les soins de kinésithérapie/rééducation par des kinésithérapeutes. Ils avaient en charge de réaliser, et superviser les soins et de surveiller la tolérance au traitement. Une séance de formation a été assurée avant le démarrage de l'étude pour standardiser les pratiques. Le médecin thermal a été chargé d'examiner les patients avant la cure, à mi-cure et à la fin de la cure afin de s'assurer du bon déroulement de celle-ci. Les patients continuaient leur traitement habituel.

III.3 – MESURES

III.3.1 – Test d'équilibre

Les tests d'évaluation de la fonction d'équilibration ont été effectués sous la responsabilité du Professeur Philippe Perrin, au sein de locaux de la piscine de Nancy – Thermal, ayant bénéficié d'une Autorisation de Lieu de Recherche (ALR) par l'Agence Régionale de Santé de Lorraine, dans le cadre de cette étude promue par le CHRU de Nancy et dont l'Investigatrice Principale est Mme le Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE. L'ensemble des sujets a été soumis aux tests posturographiques sur une plate-forme de forces verticales (Médicapture, Balma, France), composée d'un plateau à trois jauges de pression, à partir desquelles sont enregistrées les positions du centre de pression des pieds (CPP) et ses oscillations dans un plan horizontal en deux

dimensions (Durée d'enregistrement : 25,6 s ; Fréquence d'acquisition : 40 Hz). Cette procédure classique élimine 10 % des points situés aux extrémités afin de supprimer les valeurs d'oscillation postural qui ne sont pas indicatifs du contrôle postural. Une interface permet la transformation des informations de pression en informations électrique. Le logiciel WinPosture connecté à la plate-forme Médicapteurs permettait d'enregistrer les paramètres d'oscillation corporel du patient pendant le test. Ce test a été réalisé dans une cabine insonorisée, avec un éclairage artificiel.

Durant la durée des enregistrements, il a été demandé à chacun des sujets en position orthostatique sur la plate-forme, les pieds nus au niveau des repère, à 30° d'intervalle, les bras le long du corps, respirant normalement sans inspiration ni expiration forcée, de rester le plus stable, mais le plus détendu possible, la tête dans l'axe d'une cible à hauteur des yeux placée deux mètres devant eux.

Tous les patients ont été évalués dans six conditions différentes consécutives (C1 à C6) avec un essai pour la condition 1 (C1) à 6 (C6). Dans chaque condition les oscillations posturales ont été enregistrées pendant 25,6 s pour évaluer leur capacité à utiliser les entrées sensorielles (visuelles, vestibulaires et somatosensorielles) et à faire abstraction des informations sensorielles faussées. Les informations somatosensorielles ont été perturbées en plaçant un support en mousse de 5mm d'épaisseur sur la plate-forme, tandis que les signaux visuels ont été perturbés par l'utilisation d'une paire de lunettes de réalité virtuelle empêchant la prise de repères visuels environnementaux. En condition 1 (C1) et 2 (C2) l'information somatosensorielle était disponible et le patient avait successivement les yeux ouverts (C1) puis fermés (C2). En C3, les signaux somatosensoriels étaient encore disponibles, alors que le patient gardait les yeux ouverts, dans une ambiance visuelle faussée par une pair de lunettes de réalité virtuelle. De C4 à C6, l'information somatosensorielle a été perturbée et la vision a été successivement présente (C4), absente (C5) et faussée (C6). En C3 et C4, un conflit sensoriel a été induit, mais relativement facile à compenser par les informations disponibles (un signal perturbé pour deux signaux disponibles). Le conflit sensoriel était bien présent en C5 et C6 avec une entrée faussée (proprioception), une entrée disponible (vestibule) et une entrée absente (vision) en C5 et deux entrées faussées (proprioception et vision) et une entrée disponible (vestibule) en C6.

Pour chacune des conditions, la surface couverte (en mm²) et la longueur parcourue (en mm) par le CPP, qui pourraient refléter le mouvement du centre de gravité du corps, ont été enregistrées. Un bon contrôle postural se reflétait principalement par des valeurs

plus basses des paramètres de la surface et de la longueur, représentant respectivement la précision et l'efficacité du contrôle postural [Tarantola *et al.*, 1997 ; Perrin *et al.*, 1999]. La répartition du poids corporel sur chaque pied a été évaluée par la variance de la trajectoire du CPP sur l'axe médio-latéral (ML). L'oscillation de cette trajectoire dans l'axe ML (décalage à gauche ou à droite) peut refléter la manière dont sont utilisés les membres inférieurs pour supporter le poids du corps pendant une attitude calme, surtout chez les patients ayant d'une gonarthrose unilatérale.

Afin d'évaluer la capacité du sujet à s'adapter et à ajuster correctement les performances motrices, un SME (score moyen d'équilibre) a été calculé en additionnant les valeurs des six conditions, et enfin en divisant cette somme par six. Cette procédure a été adaptée par le Test Clinique pour Interaction Sensorielle en Equilibre [Shumway-Cook & Horak, 1986 ; Herpin *et al.*, 2009].

III.3.2 – Evaluation de la douleur

Afin d'évaluer l'intensité de la douleur articulaire, l'échelle visuelle analogique (EVA) de la douleur a été utilisée [van Baar *et al.*, 1998 ; Rat *et al.*, 2005]. L'EVA est composée d'une ligne de 100 mm avec pour appellation aux extrémités : "aucune douleur" (à 0 mm) et "douleur insupportable" (à 100 mm). Il a été demandé aux patients avant le test d'équilibre de trouver le niveau de douleur du genou sur la ligne avec un petit trait vertical.

III.3.3 – Sécurité des personnes

Afin d'éviter tout risque de chute, l'expérimentateur était toujours aux côtés des personnes testées. Des périodes de repos étaient également prévues entre les différents tests.

III.4 – RANDOMISATION

La plupart des revues de la littérature ont insisté sur l'importance de la randomisation [Kunz & Oxman, 1998 ; Moher *et al.*, 1998]. Le patient n'est pas mis au courant de la cure suivie afin d'éviter les biais de préférence thérapeutique [Zelen, 1992].

La méthode de randomisation de Zelen (méthode de randomisation avant recueil du consentement) doit permettre de diminuer ce biais. Cette méthode a déjà été utilisée avec succès dans le passé [Korvick *et al.*, 1992 ; Schellings *et al.*, 1999]. Pour certains, elle a comme autre avantage de diminuer le nombre de refus d'entrée dans l'étude [Armstrong & Watts, 1981]. Une revue publiée en 2006 a démontré que sur 58 études cette méthode a été utilisée prioritairement pour limiter les biais plus que pour augmenter le recrutement [Adamson *et al.*, 2006]. Cette méthode n'était pas en contradiction avec les règles d'éthique et elle a été largement utilisée dans de nombreux essais.

Les patients n'étant pas autorisés à choisir leur cure, la randomisation se faisait donc selon la méthode de Zelen [Zelen, 1992]. Lors de la visite d'inclusion, les patients ont été informés que le but de la recherche était d'étudier l'efficacité des soins réalisés au cours d'une prise en charge thermique. Il ne leur était pas d'emblée expliqué dans les détails le contenu des deux types de cure et la randomisation se faisait avant le recueil du consentement. En cas de refus après attribution du groupe d'intervention, le patient pouvait être affecté à l'autre groupe. Une lettre d'information et un consentement propres à chaque groupe étaient proposés.

La randomisation se faisait de façon centralisée, indépendante par programme informatique au Centre d'épidémiologie clinique (CIC-EC). Le groupe de randomisation était disponible lors de la visite de sélection.

III.5 – MODALITES DE SUIVIS

Il s'agissait d'un essai clinique monocentrique, randomisé, en simple aveugle, de non infériorité comparant « cure classique » et « cure active » dans la gonarthrose.

Les données cliniques et de santé ont été recueillies avant la cure (V0), à 3 semaines (V1 = fin de la cure classique ou changement de type de soins pour la cure active), à 6 semaines (V2 = fin de la cure active), à 3 mois (V3 = trois mois après le début de la cure) et ont comporté les examens suivants : examen clinique (épanchement, amplitudes articulaires), EVA douleur, EVA fatigue, WOMAC, AMIQUAL, SF36, satisfaction, consommation médicamenteuse, recours à la chirurgie, effets secondaires, examen de posturographie, test de marche de 6 minutes. Le nombre de soins réellement effectués par les patients a été également répertorié. Dans mes études, la mesure ne concerne que le test d'équilibre.

III.6 – METHODE DE RECHERCHE

III.6.1 – Comparaison transversale

Le but de la comparaison transversale dans nos études était donc d'étudier la variation de la stabilité posturale chez les patients gonarthrosiques au cours de différentes périodes dans une journée. Les séances de test d'équilibre ont donc été réalisées, avant la cure thermique, respectivement entre 8 et 10h (début de matinée), 10 et 12h (fin de matinée), 13 et 15h (début d'après-midi), 15 et 17h (fin d'après-midi). Une randomisation a été réalisée pour chaque patient pour chacun des quatre tests posturographiques. L'influence du sexe, de l'âge et du poids corporel sur le contrôle postural a également été évaluée. Nous supposons que les patients atteints de gonarthrose peuvent avoir une variation circadienne sur le contrôle de l'équilibre avec probablement une meilleure performance l'après-midi principalement en raison de symptômes cliniques plus prononcés paraissant dans la matinée.

III.6.2 – Suivis longitudinaux

Afin d'étudier et d'évaluer les avantages potentiels de l'hydrothérapie sur le contrôle de l'équilibre au cours chez les deux différents protocoles de rééducation, le suivi des sujets comportait des visites à 3 semaines, 6 semaines, et 3 mois après le commencement de la cure aquatique à Nancy Thermal. Lors de chaque visite, les patients devaient être soumis à un même test posturographique dont le même local par le même examinateur. En cas de non-réponse, les patients étaient contactés par téléphone. Nous supposons que les patients peuvent avoir une amélioration du contrôle postural pendant la cure thermique et également une efficacité thérapeutique soutenue.

III.7 – ANALYSE STATISTIQUE

Le logiciel SPSS (version 19,0) a été utilisé pour l'analyse statistique. Les données qualitatives ont été exprimées en nombre (n) et en pourcentage (%) et comparées par le test du χ^2 . Les données quantitatives ont été contrôlées pour la normalité de la distribution par le test de Kolmogorov-Smirnov avant l'analyse. Vu que la plupart des données acquises avant la cure (V0) suivaient des distributions non-normales, des tests non-

paramétriques ont été utilisés dans toutes les analyses statistiques. Les données quantitatives ont ainsi été exprimées en valeurs médianes, associées au 1^{er} (Q1) et 3^{ème} (Q3) quartiles. Pour les variables démographiques qui ont été enregistrées dans cette étude, les facteurs prédictifs indépendants potentiels ont été évalués pour tous les sujets. Les facteurs prédictifs choisis comprenaient l'âge, le sexe, la taille, le poids corporel, l'IMC, l'EVA douleur, et le temps d'essai. Les corrélations entre ces facteurs prédictifs et le contrôle postural ont été déterminées à l'aide du coefficient de Spearman. Les oscillations posturales des patients classés selon leur âge, leur sexe, leur taille, leur poids, et leur IMC au cours de quatre tests ont été analysées par le test de Kruskal-Wallis, puis par un test post-hoc Nemenyi pour les comparaisons 2 à 2. La stabilité posturale entre les patients atteints d'une gonarthrose unilatérale et bilatérale, et l'EVA douleur dans les quatre sessions ont été mesurées simultanément de la même manière.

Pour les variables continues dans les suivis longitudinaux, une analyse de la variance de modèle mixte a été effectuée pour les données répétées, le test de sphéricité de Mauchly, (comparaison V0-V1-V2-V3) avec une analyse du facteur de traitement et de l'interaction. Et puis, des comparaisons entre les deux groupes à chaque suivi et les variations pendant 4 suivis dans chaque groupe ont été également réalisées.

Toutes les différences statistiques significatives ont été acceptées pour un niveau de probabilité de $p \leq 0,05$.

IV – RESULTATS

Dans cette partie, les résultats d'une première analyse sur les caractéristiques chronobiologiques du contrôle postural sont présentées, ainsi que les résultats d'une deuxième analyse sur les suivis longitudinaux des deux programmes de rééducation.

Deux cent quatre-vingt quatre patients souffrant d'une gonarthrose symptomatique ont été recrutés dans cette étude. Parmi les 284 sujets inclus, 241 ont réalisé les 4 tests d'équilibre pendant les 3 mois de suivi (Figure 2). Les perdus de vue ont arrêté pour les raisons suivantes : déménagement à l'étranger, intempéries, intolérance du test d'équilibre, refus de participation à la cure thermale, et raisons inconnues (personnes non-joignable par téléphone). Nos résultats concernent donc 241 sujets.

IV.1 – CARACTERISTIQUES DE LA COHORTE

IV.1.1 – Sexe et âge

Avant le démarrage de la cure, les patients se répartissaient de la manière suivante : 49 femmes (72,1 %) et 19 hommes (27,9 %) dans le groupe en début de matinée avec un âge médian de 65.0 ans pour l'ensemble de la cohorte, 38 femmes (65,5 %) et 20 hommes (34,5 %) dans le groupe fin de matinée avec un âge médian de 64.5 ans pour l'ensemble de la cohorte, 42 femmes (67,7 %) et 20 hommes (32,3 %) dans le groupe début de l'après-midi avec un âge médian de 64.5 ans pour l'ensemble de la cohorte, 30 femmes (56,6 %) et 23 hommes (43,4 %) dans le groupe fin de l'après-midi avec un âge médian de 64.5 ans pour l'ensemble de la cohorte (Tableau 1).

Lorsque la cure thermale était commencée, la cohorte était constituée de 87 femmes (69 %) et 39 hommes (31 %) dans le groupe classique, de 72 femmes (63 %) et 43 hommes (37 %) hommes dans le groupe actif. L'âge médian était de 65 ans pour l'ensemble de la cohorte de chaque groupe (Tableau 2).

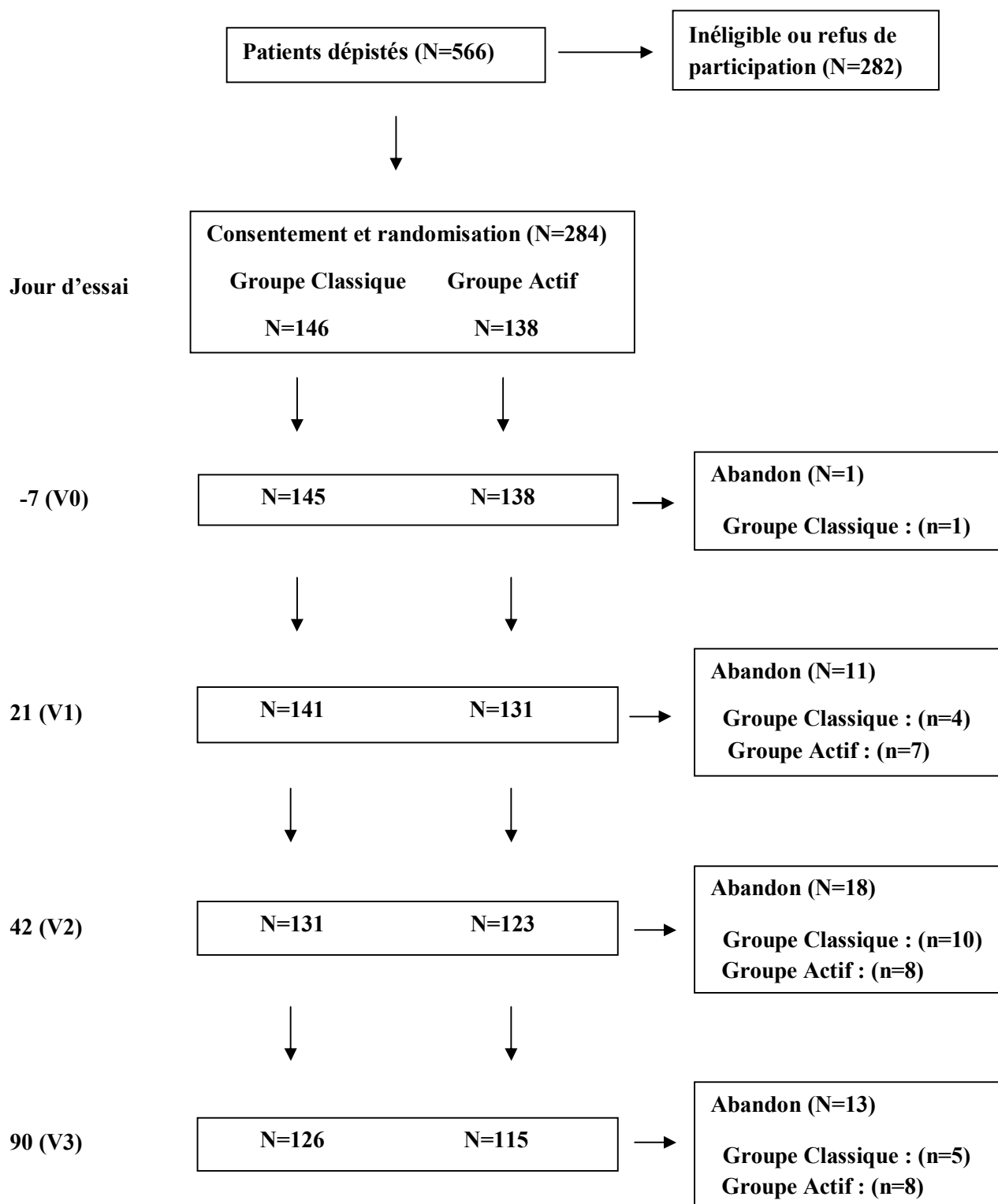


Figure 2. Diagramme de participation au cours de l'étude

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des patients dans les 4 moments de test de la journée.

Paramètres	Groupe DM * (n = 68)	Groupe FM (n = 58)	Groupe DA (n = 62)	Groupe FA (n = 53)	Kruskal-Wallis ou χ^2 P-value
Sexe, féminin, n (%)	49 (72,1)	38 (65,5)	42 (67,7)	30 (56,6)	0,276
Âge, ans, médiane (Q ₁ , Q ₃) *	65,0 (58,8 , 72,0)	64,5 (60,0 , 71,0)	64,5 (58,0 , 68,0)	65,0 (60,0 , 71,0)	0,716
<65 ans, n (%)	35 (51,5)	31 (53,4)	34 (54,8)	28 (52,8)	-
Taille, cm, médiane (Q ₁ , Q ₃)	165 (161 , 175)	166 (159 , 171)	166 (160 , 175)	167 (161 , 173)	0,745
<166,8 cm, n (%)	40 (58,8)	29 (50,0)	32 (51,6)	26 (49,1)	-
Poids, kg, médiane (Q ₁ , Q ₃)	78,5 (70,8 , 90,5)	85,0 (75,0 , 95,0)	83,0 (69,3 , 92,0)	84,0 (70,0 , 93,0)	0,585
<83,5 kg, n (%)	40 (58,8)	28 (48,3)	31 (50,0)	25 (47,2)	-
IMC, médiane (Q ₁ , Q ₃)	27,8 (25,7 , 32,5)	29,7 (26,7 , 34,6)	28,6 (25,6 , 32,9)	29,1 (25,6 , 34,9)	0,327
>25, n (%)	55 (80,9)	51(87,9)	50 (80,6)	42(79,2)	-

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

Tableau 2. Caractéristiques démographiques des patients dans deux groupes d'hydrothérapie

Paramètres	Groupe Classique (n = 126)	Groupe Actif (n = 115)	Mann-Whitney Or χ^2 P-value
Âge, ans, médiane (Q ₁ , Q ₃) *	65,0 (59,0 , 71,8)	65,0 (58,5 , 69,5)	0,559
Sexe, féminin, n (%)	87 (69)	72 (63)	0,292
Taille, cm, médiane (Q ₁ , Q ₃)	165 (160 , 171)	166 (161 , 174)	0,276
Poids, kg, médiane (Q ₁ , Q ₃)	82,0 (71,0 , 93,8)	84,0 (69,5 , 93,0)	0,724
IMC, médiane (Q ₁ , Q ₃)	28,8 (26,2 , 32,9)	29,0 (25,6 , 33,4)	0,696

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

IV.1.2 – Taille, poids, et IMC

En plus de l'âge et du sexe, la taille et le poids du patient ont également été pris en compte comme des facteurs importants afin d'analyser les caractéristiques chronobiologiques de la stabilité posturale chez les sujets. Les 4 cohortes étaient constituées de 68 sujets en début de matinée, 58 sujets en fin de matinée, 62 sujets au début de l'après-midi et 53 sujets à la fin de l'après-midi.

Afin d'identifier et d'évaluer l'influence des facteurs démographiques sur le contrôle postural dans la journée, les résultats obtenus au cours de chaque séance ont été analysés en tenant compte du sexe, de l'âge moyen, de la taille moyenne et du poids moyen du patient directement enregistrés dans le logiciel. De plus, l'indice de masse corporelle (IMC) a aussi été pris en compte et les patients ont été séparés en deux groupes ($IMC < 25$ et $IMC \geq 25$) au cours de chaque période de test (Tableaux 1). Il a été montré que tous les facteurs prédictifs retenus avaient une influence significative sur le contrôle postural dans certaines conditions d'essai (Tableaux 3).

IV.2 – RESULTATS D'UNE COMPARAISON TRANSVERSALE AVANT LA CURE THERMALE

IV.2.1 – Comparaison globale sur le contrôle postural

Les tests d'équilibre effectués sur quatre séances dans la journée ont montré des différences au niveau de la surface couverte par le centre de pression des pieds en condition 1 ($p = 0,012$) et condition 5 ($p = 0,047$) (Tableau 4), mais aucune différence n'a été observée sur la longueur parcourue (Tableau 5).

Le test Nemenyi a démontré que le groupe fin de matinée avait une plus grande surface que le groupe début ($p = 0,026$) et fin ($p = 0,037$) d'après-midi en condition 1 (Tableau 6). Et puis, le groupe fin de matinée avait aussi une plus grande surface que celle de groupe début d'après-midi en condition 5 ($p = 0,019$) (Tableau 7). Les figures 3 et 4 représentent les surfaces couvertes et les longueurs parcourues par les 4 cohortes de sujets dans les différentes conditions d'essai.

Le tableau 8 exprime les oscillations posturales en fonction de l'axe médio-latéral chez les différents groupes de patients. Un test Chi carré a confirmé qu'il n'y avait pas de différence chez les patients des 4 groupes atteints d'une gonarthrose unilatérale que ce

soit pour le membre inférieur pathologique ou sain ($p = 0,992$). De même, oscillation du corps du côté affecté ou sain chez les patients arthrosiques unilatéraux n'était pas observée des différences significatives entre les 4 groupes ($p > 0,05$). Cependant, l'EVA douleur a montré différentes intensités de la douleur en fonction des différentes plages horaires de la journée ($p < 0,001$). En effet les patients testés en début d'après-midi avaient une intensité de douleur plus faible en comparaison avec ceux testés en début ($p = 0,005$) et en fin ($p < 0,001$) de matinée (Figure 5). Par ailleurs, les patients testés en fin d'après-midi côtaient la douleur a une intensité plus faible que ceux testés en fin de matinée ($p = 0,022$).

Tableau 3. Coefficients de corrélation (Spearman ρ) entre le contrôle postural dans différentes conditions et les facteurs prédictifs potentiels indépendants des patients.

	C1 *	C2	C3	C4	C5	C6	SME
Age	0,120	0,139 ^a	0,108	0,230 ^b	0,104	0,131 ^a	0,152 ^a
Sexe *	-0,001	-0,132 ^a	-0,161 ^a	-0,068	-0,126	-0,059	-0,123
Taille	0,045	0,134 ^a	0,177 ^b	0,078	0,130 ^a	0,090	0,132 ^a
Poids	0,148 ^a	0,204 ^b	0,292 ^b	0,140 ^a	0,214 ^b	0,153 ^a	0,212 ^b
IMC	0,126	0,131 ^a	0,196 ^b	0,088	0,149 ^a	0,086	0,136 ^a
EVA douleur	0,104	0,162 ^a	0,165 ^a	0,192 ^b	0,125	0,080	0,161 ^a
Temps d'essai	-0,157 ^a	-0,077	-0,110	-0,088	-0,132 ^a	0,008	-0,075

* Homme et femme ont respectivement été configurés dans l'analyse comme 1 et 2.

* C1-C6, six conditions différentes de test; SME (Score moyen d'équilibre).

^a $P < 0,05$; ^b $P < 0,01$.

Tableau 4. Surface couverte par le centre de pression des pieds mesurée au cours des 4 plages horaires de la journée dans six conditions différentes d'essai.

Surface couverte	Groupe DM [*] (n=68)	Groupe FM (n=58)	Groupe DA (n=62)	Groupe FA (n=53)	Kruskal-Wallis
(mm ²)	Médiane (Q1, Q3) [*]	Médiane (Q1, Q3)	Médiane (Q1, Q3)	Médiane (Q1, Q3)	P
C1[*]	225,2 (150,7 , 350,4)	294,6 (155,9 , 387,0)	181,1 (141,3 , 266,3)	184,8 (132,6 , 250,4)	0,012
C2	371,2 (239,5 , 583,8)	343,6 (238,0 , 587,5)	295,5 (215,7 , 456,0)	303,9 (193,4 , 477,1)	0,374
C3	331,7 (172,5 , 477,2)	364,9 (212,6 , 569,3)	272,6 (165,6 , 382,4)	280,3 (175,3 , 405,7)	0,118
C4	197,0 (129,9 , 319,9)	223,9 (155,0 , 323,8)	189,8 (124,4 , 234,8)	180,7 (125,2 , 245,3)	0,077
C5	322,7 (189,4 , 483,3)	376,9 (263,8 , 567,1)	248,6 (190,4 , 419,3)	348,6 (191,6 , 466,9)	0,047
C6	290,8 (216,0 , 478,1)	333,3 (213,7 , 524,8)	280,0 (190,0 , 495,3)	281,6 (220,1 , 451,3)	0,859
SME[*]	322,6 (210,0 , 436,3)	347,5 (227,2 , 462,4)	265,7 (174,5 , 391,6)	275,0 (199,4 , 394,2)	0,164

^{*} Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ; Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

^{*} Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

^{*} C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

^{*} SME – Score moyen d'équilibre.

Tableau 5. Longueur parcourue par le centre de pression des pieds mesurée au cours des 4 plages horaires de la journée dans six conditions différentes d'essai.

Longueur parcourue	Groupe DM [*] (n=68)	Groupe FM (n=58)	Groupe DA (n=62)	Groupe FA (n=53)	Kruskal-Wallis
(mm)	Médiane (Q1, Q3)	Médiane (Q1, Q3)	Médiane (Q1, Q3)	Médiane (Q1, Q3)	P
C1 *	342,7 (272,4 , 425,7)	362,8 (292,7 , 454,8)	324,3 (274,3 , 405,2)	374,5 (272,1 , 452,5)	0,296
C2	556,5 (403,0 , 756,6)	569,2 (442,1 , 818,6)	572,6 (388,1 , 732,9)	640,6 (411,9 , 802,7)	0,639
C3	414,0 (300,6 , 576,6)	442,9 (361,7 , 626,4)	410,4 (313,3 , 553,5)	476,0 (326,7 , 642,8)	0,237
C4	313,0 (241,0 , 454,1)	348,1 (272,3 , 467,4)	311,0 (253,4 , 386,8)	358,8 (257,1 , 401,9)	0,444
C5	515,4 (351,0 , 696,1)	514,9 (424,9 , 787,4)	466,8 (375,5 , 644,0)	595,7 (388,6 , 802,9)	0,368
C6	408,5 (339,4 , 607,9)	456,3 (360,0 , 619,0)	445,0 (318,5 , 509,3)	460,6 (394,5 , 598,8)	0,168
SME *	439,3 (328,1 , 574,7)	435,8 (372,4 , 622,4)	427,6 (327,1 , 534,4)	484,2 (350,3 , 591,9)	0,310

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ; Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

Tableau 6. L'analyse post-hoc entre chaque groupe en condition 1 du test d'équilibre.

Nemenyi test P	Groupe DM [*] (n=68)	Groupe FM (n=58)	Groupe DA (n=62)	Groupe FA (n=53)
Groupe DM				
Groupe FM	0,723			
Groupe DA	0,139	0,026		
Groupe FA	0,170	0,037	1,000	

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

Tableau 7. L'analyse post-hoc entre chaque groupe en condition 5 du test d'équilibre.

Nemenyi test P	Groupe DM [*] (n=68)	Groupe FM (n=58)	Groupe DA (n=62)	Groupe FA (n=53)
Groupe DM				
Groupe FM	0,255			
Groupe DA	0,460	0,019		
Groupe FA	0,976	0,407	0,382	

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

Tableau 8. Répartition de la gonarthrose selon le membre inférieur atteint et oscillations posturales selon l'axe médio-latéral exprimé par le score moyen d'équilibre en fonction de la plage horaire observée (en nombre de patients et en pourcentage).

Séance	Gonarthrose à Gauche	Gonarthrose à Droite	Gonarthrose Bilatérale	Oscillation du corps du côté affecté chez les patients arthrosiques unilatéraux	Oscillation du corps du côté sain chez les patients arthrosiques unilatéraux
Groupe DM	4	19	45	9/23 (39,1%)	14/23 (60,9%)
Groupe FM	8	9	41	7/17 (41,2%)	10/17 (58,8%)
Groupe DA	11	8	43	7/19 (36,8%)	12/19 (63,2%)
Groupe FA	4	8	41	5/12 (41,7%)	7/12 (58,3%)

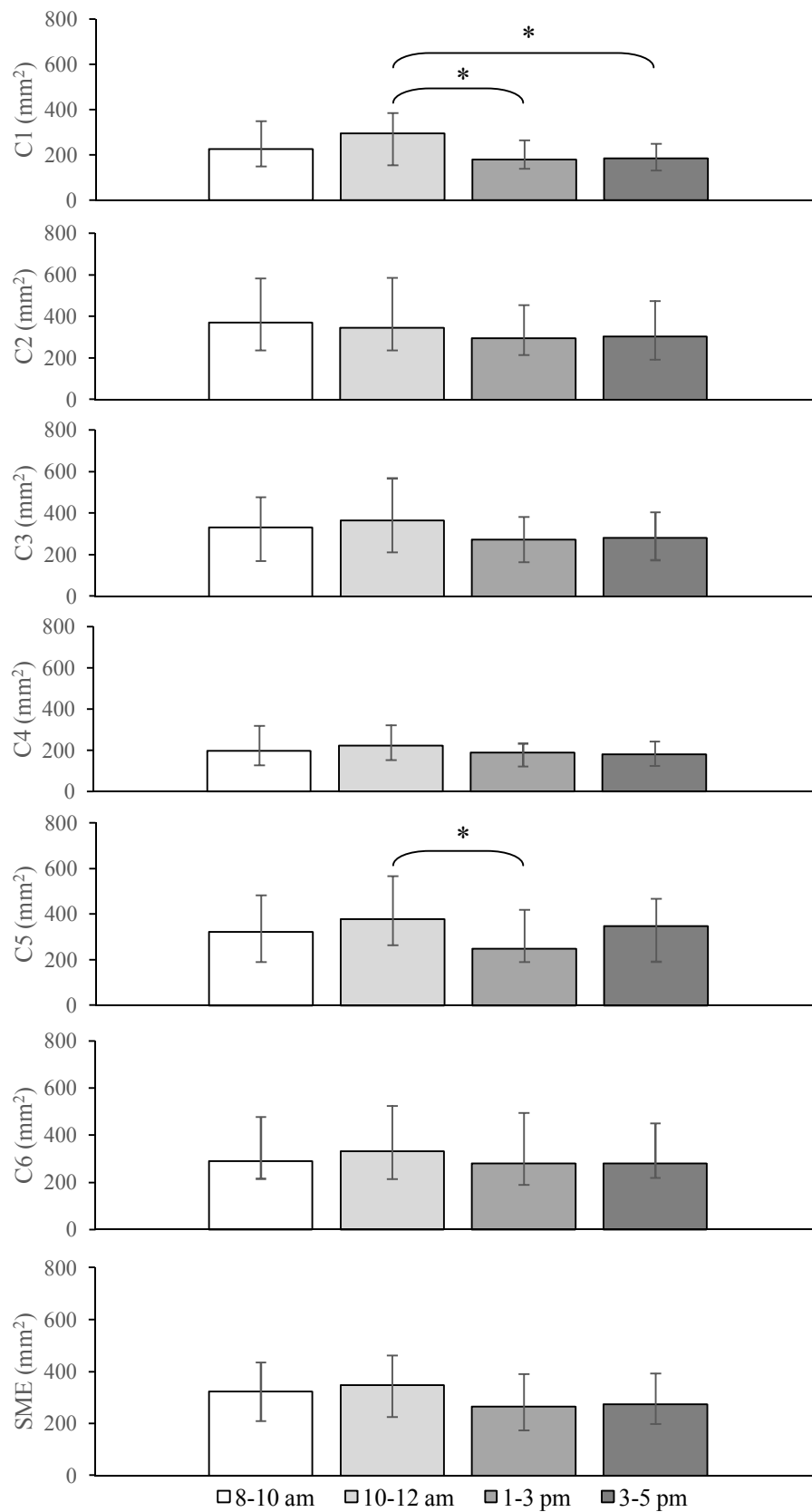


Figure 3. Comparaisons globales de la surface couverte par le CPP au cours des 4 périodes de la journée. Ordonnées : valeurs de la médiane avec un 25^e et un 75^e percentile dans les différentes conditions d'essai.

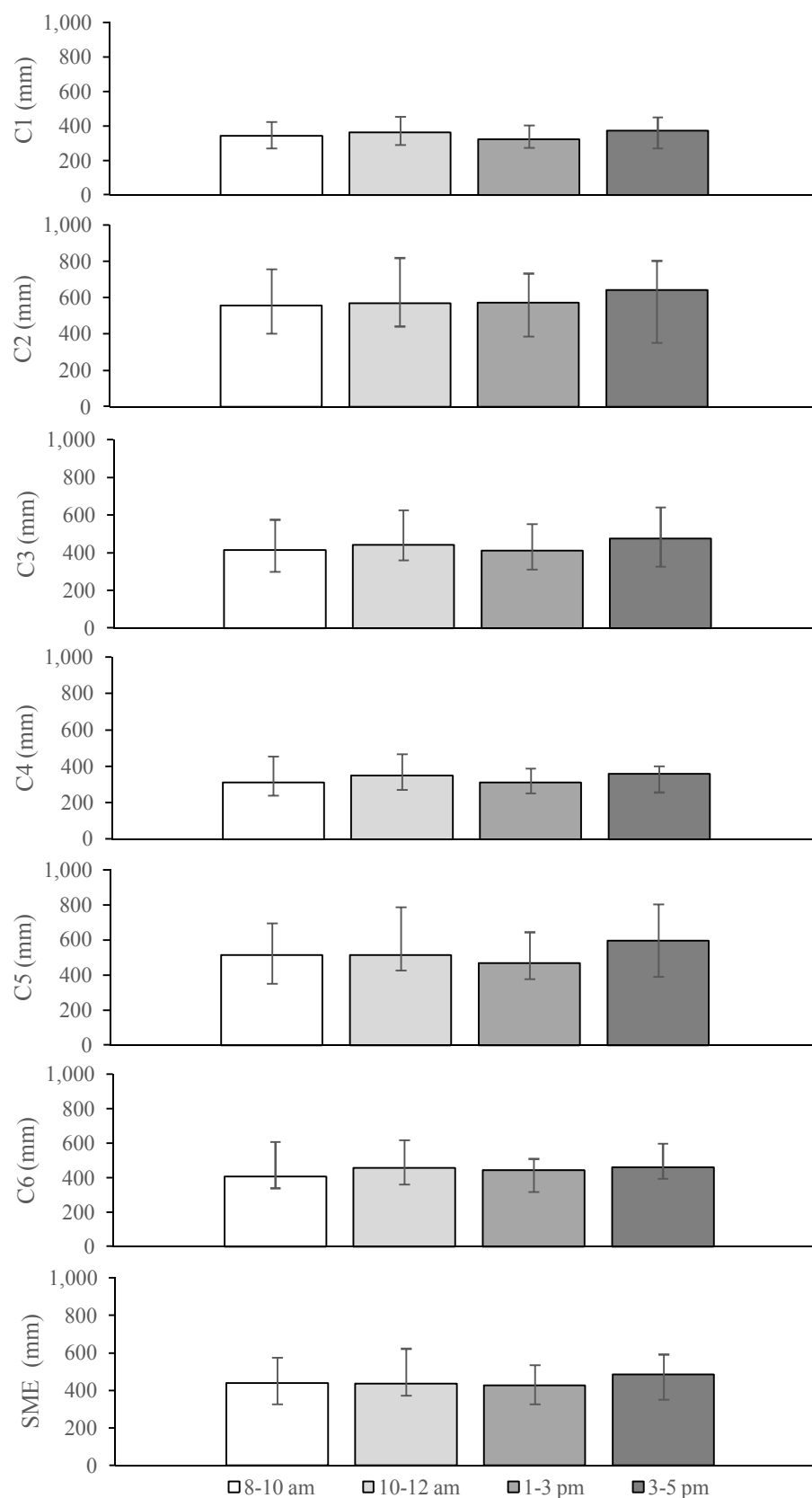
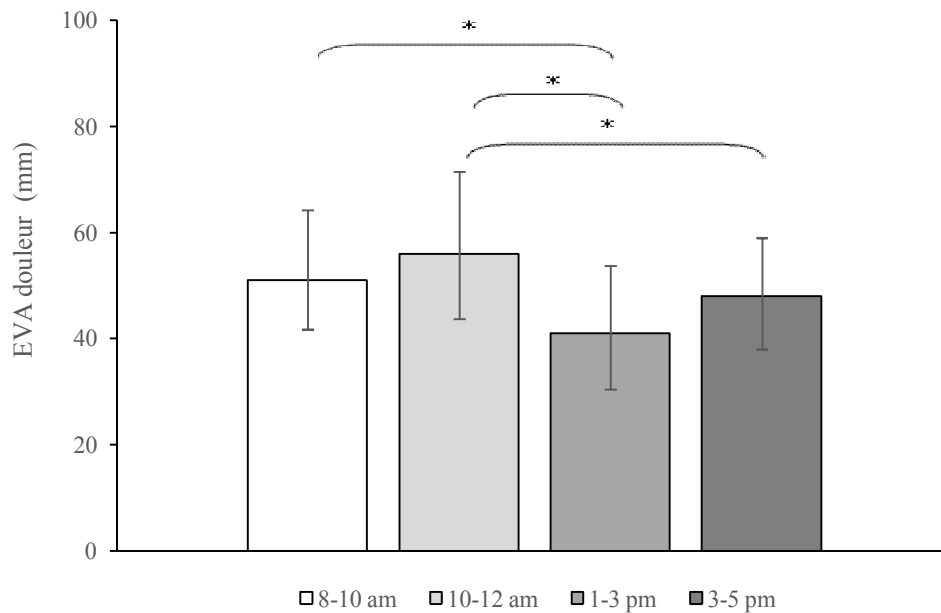


Figure 4. Comparaisons globales de la longueur parcourue par le CPP au cours de 4 périodes de la journée. Ordonnées : valeurs médiane avec un 25^e et un 75^e percentile selon les différentes conditions d'essai.

Figure 5. Echelle visuelle analogique (EVA) de la douleur chez les patients au cours des quatre périodes de la journée.



IV.2.2 – Effet de l'âge sur le contrôle postural

L'effet de l'âge sur la surface d'oscillation est présenté dans le tableau 9. Une hétérogénéité significative a été observée en condition 1 ($p = 0,032$), condition 4 ($p = 0,014$), condition 5 ($p = 0,009$) et pour le SME ($p = 0,046$). Aucune différence de la longueur parcourue n'a été observée chez les patients (Tableau 10).

Tableau 9 Surface couverte par le centre de pression des pieds mesurée au cours de 4 périodes de la journée chez les patients d'âge différent.

Surface couverte (mm ²)	Groupe DM * (n1=35, n2=33) *	Groupe FM (n1=31, n2=27)	Groupe DA (n1=34, n2=28)	Groupe FA (n1=28, n2=25)	Kruskal-Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) * Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1 *	203,9(138,3 , 381,0) 256,7(189,4 , 345,7)	221,8(133,6 , 360,7) 300,3(215,2 , 399,2)	175,7(129,9 , 287,9) 187,2(144,9 , 254,2)	196,1(152,4 , 242,3) 154,7(131,9 , 271,8)	0,032
C2	319,4(199,4 , 532,1) 444,1(272,0 , 590,2)	281,0(224,2 , 445,0) 394,0(309,3 , 692,3)	295,5(249,6 , 504,9) 299,3(174,5 , 427,8)	301,2(233,9 , 447,3) 303,9(192,8 , 477,1)	0,213
C3	306,0(162,3 , 437,5) 346,9(237,3 , 564,7)	332,6(180,5 , 431,7) 400,5(302,2 , 645,3)	269,4(178,0 , 387,0) 277,9(162,2 , 352,2)	304,2(189,1 , 373,6) 268,2(167,8 , 405,7)	0,143
C4	170,2(127,8 , 211,4) 292,5(152,0 , 402,3)	214,3(140,7 , 316,1) 240,0(179,7 , 386,2)	180,5(105,4 , 233,6) 191,7(139,2 , 234,6)	166,6(126,7 , 247,4) 200,2(114,4 , 245,3)	0,014
C5	277,0(158,3 , 360,6) 362,2(270,1 , 724,9)	350,7(232,8 , 529,6) 437,0(291,9 , 665,7)	274,4(198,6 , 423,5) 230,8(183,3 , 371,3)	408,1(242,3 , 480,3) 289,2(181,1 , 457,2)	0,009
C6	261,6(188,0 , 363,2) 347,4(285,1 , 613,2)	327,6(178,0 , 472,5) 343,2(276,3 , 603,6)	280,0(212,4 , 458,1) 282,5(177,9 , 531,8)	293,4(226,6 , 431,9) 247,6(220,1 , 451,3)	0,422
SME *	262,0(179,1 , 389,0) 378,7(266,7 , 488,8)	313,4(193,7 , 444,3) 390,0(285,0 , 559,7)	278,5(187,8 , 419,4) 254,7(173,1 , 357,9)	301,5(218,1 , 392,2) 244,5(183,6 , 399,8)	0,046

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* L'âge moyen de tous les patients était de 65 ans, n1 et n2 signifient respectivement les sujets de moins de 65 ans et ceux de plus de 65 ans.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

Tableau 10. Longueur parcourue par le centre de pression des pieds mesurée au cours des 4 périodes de la journée chez les patients d'âge différent.

Longueur parcourue (mm)	Groupe DM * (n1=35, n2=33) *	Groupe FM (n1=31, n2=27)	Groupe DA (n1=34, n2=28)	Groupe FA (n1=28, n2=25)	Kruskal-Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1 *	327,0(260,0 , 382,3) 393,6(293,5 , 508,5)	312,8(268,7 , 412,0) 420,0(349,7 , 641,0)	313,9(271,9 , 389,0) 336,3(274,8 , 418,0)	321,8(251,7 , 428,6) 398,6(326,1 , 463,8)	0,273
C2	501,8(368,6 , 698,5) 570,3(470,8 , 1005,4)	506,1(414,0 , 632,8) 652,3(510,4 , 1159,0)	581,4(399,4 , 732,9) 519,9(343,7 , 728,2)	552,8(381,0 , 737,1) 698,1(448,2 , 909,1)	0,075
C3	382,9(295,1 , 537,3) 434,0(313,7 , 676,5)	419,0(335,6 , 492,4) 506,8(420,3 , 831,9)	411,7(342,4 , 537,7) 391,2(298,8 , 566,6)	420,8(326,2 , 640,9) 492,8(339,8 , 647,4)	0,148
C4	282,4(224,8 , 364,8) 426,3(267,7 , 506,8)	297,5(261,6 , 363,3) 369,7(315,7 , 505,9)	306,3(259,9 , 382,0) 314,2(248,5 , 389,0)	311,0(253,4 , 379,5) 375,0(302,7 , 464,4)	0,096
C5	463,0(333,0 , 566,8) 580,3(385,3 , 898,1)	496,6(393,7 , 597,8) 640,5(458,8 , 894,5)	465,6(382,8 , 641,2) 472,3(363,0 , 643,1)	625,7(369,1 , 707,0) 569,9(424,9 , 824,2)	0,237
C6	380,9(313,1 , 482,1) 461,4(362,7 , 726,7)	395,8(343,6 , 532,1) 506,1(424,1 , 820,1)	443,7(297,9 , 509,3) 447,0(356,3 , 494,2)	460,2(376,8 , 590,8) 500,7(410,4 , 613,1)	0,463
SME *	413,4(308,5 , 492,3) 486,4(355,2 , 729,8)	408,7(332,2 , 482,7) 553,8(419,7 , 853,6)	435,0(332,8 , 528,4) 418,0(306,9 , 542,1)	437,1(348,9 , 580,6) 516,0(386,6 , 625,0)	0,082

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* L'âge moyen de tous les patients était de 65 ans, n1 et n2 signifient respectivement les sujets de moins de 65 ans et ceux de plus de 65 ans.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

L'analyse post-hoc a montré que les patients de plus de 65 ans présentaient une plus petite surface couverte par le CPP en fin d'après-midi que les patients ayant le même âge et ayant réalisé le test en fin de matinée en condition 1 ($p = 0,013$) (Tableau 11). Les patients de plus de 65 ans avaient aussi des plus petites surfaces couverte par le CPP en début d'après-midi que ceux en début ($p = 0,048$) et en fin ($p = 0,016$) de matinée en condition 5 (Tableau 13). Les personnes plus âgées ont montré un plus petit SME en

début d'après-midi que ceux ayant passé le test en fin de matinée ($p = 0,043$) (Tableau 14). Il a été montré qu'en début de matinée, les patients de moins de 65 ans avaient des plus petites surfaces d'oscillation que ceux de plus de 65 ans en condition 4 ($p = 0,011$) (Tableau 12) et condition 5 ($p = 0,026$) (Tableau 13).

Les figures 6 et 7 illustrent la surface couverte et la longueur parcourue par le CPP en comparant les sujets de moins de 65 ans et ceux de plus de 65 ans dans les différentes conditions du test.

Tableau 11. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds entre chaque cohorte de sujets d'âge différent en condition 1 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans
Groupe DM	< 65 ans								
	> 65 ans	0,524							
Groupe FM	< 65 ans	0,930	0,768						
	> 65 ans	0,162	0,714	0,325					
Groupe DA	< 65 ans	0,552	0,088	0,357	0,014				
	> 65 ans	0,825	0,241	0,628	0,057	0,919			
Groupe FA	< 65 ans	0,921	0,337	0,752	0,090	0,823	0,980		
	> 65 ans	0,449	0,054	0,286	0,013	0,966	0,819	0,709	

Tableau 12. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds entre chaque cohorte de sujets d'âge différent en condition 4 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans
Groupe DM	< 65 ans								
	> 65 ans	0,011							
Groupe FM	< 65 ans	0,155	0,603						
	> 65 ans	0,020	0,999	0,655					
Groupe DA	< 65 ans	0,963	0,026	0,256	0,047				
	> 65 ans	0,558	0,210	0,739	0,257	0,718			
Groupe FA	< 65 ans	0,907	0,057	0,377	0,080	0,984	0,833		
	> 65 ans	0,603	0,215	0,730	0,261	0,756	0,999	0,860	

Tableau 13. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds entre chaque cohorte de sujets d'âge différent en condition 5 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans
Groupe DM	< 65 ans								
	> 65 ans	0,026							
Groupe FM	< 65 ans	0,185	0,720						
	> 65 ans	0,008	0,861	0,424					
Groupe DA	< 65 ans	0,794	0,131	0,506	0,048				
	> 65 ans	0,996	0,048	0,255	0,016	0,858			
Groupe FA	< 65 ans	0,121	0,871	0,967	0,590	0,374	0,175		
	> 65 ans	0,794	0,196	0,591	0,082	0,999	0,853	0,458	

Tableau 14. Analyse post-hoc du SME de la surface couverte par le centre de pression des pieds entre chaque cohorte de sujets d'âge différent.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans	< 65 ans	> 65 ans
Groupe DM	< 65 ans								
	> 65 ans	0,035							
Groupe FM	< 65 ans	0,672	0,338						
	> 65 ans	0,036	0,960	0,244					
Groupe DA	< 65 ans	0,954	0,109	0,841	0,074				
	> 65 ans	0,998	0,042	0,667	0,043	0,942			
Groupe FA	< 65 ans	0,649	0,390	0,998	0,287	0,818	0,645		
	> 65 ans	0,971	0,141	0,844	0,098	0,999	0,961	0,822	

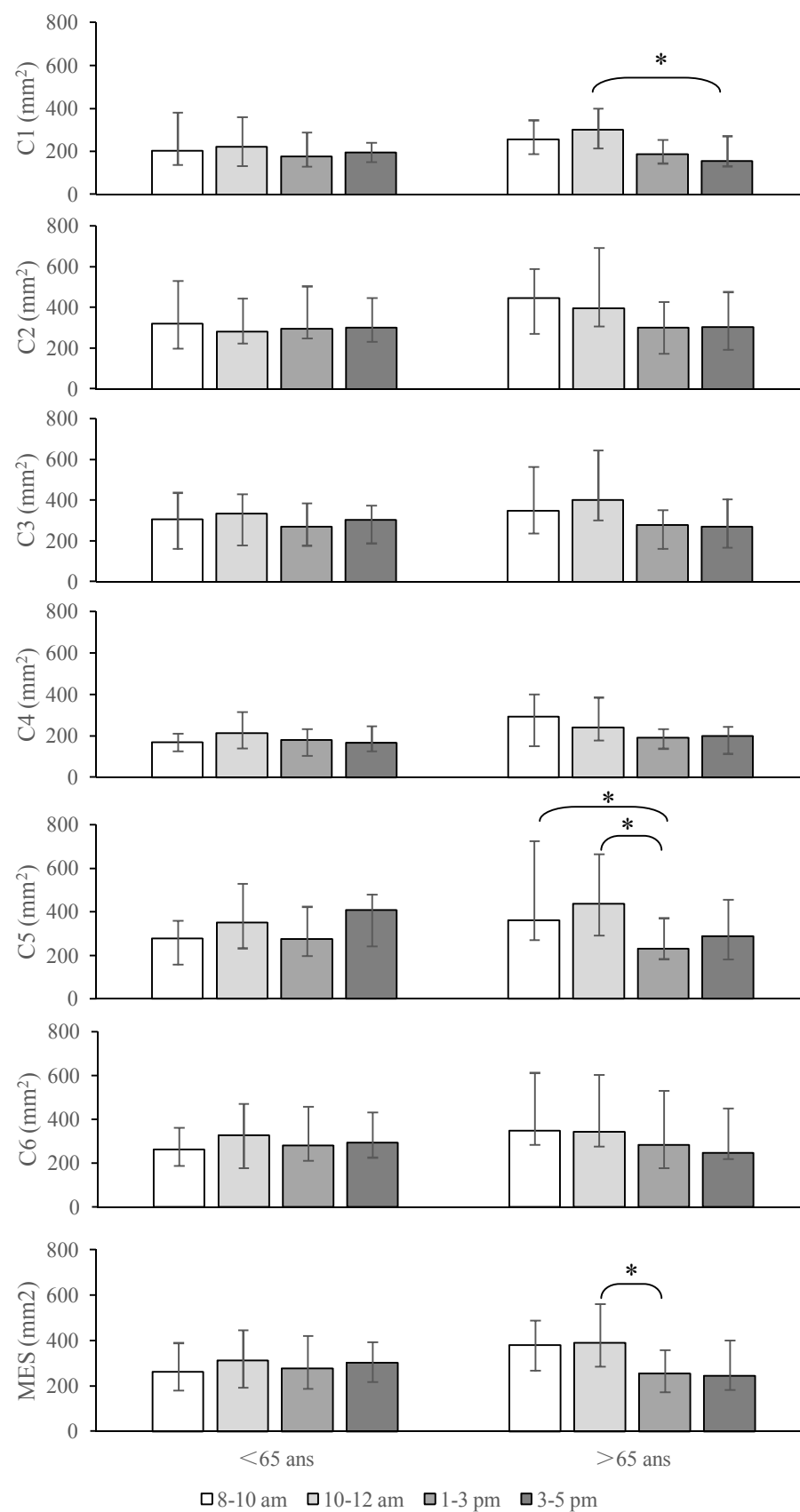


Figure 6. Comparaison de la surface couverte par le CPP entre les sujets de moins de 65 ans et ceux de plus de 65 ans. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile selon les différentes conditions d'essai.

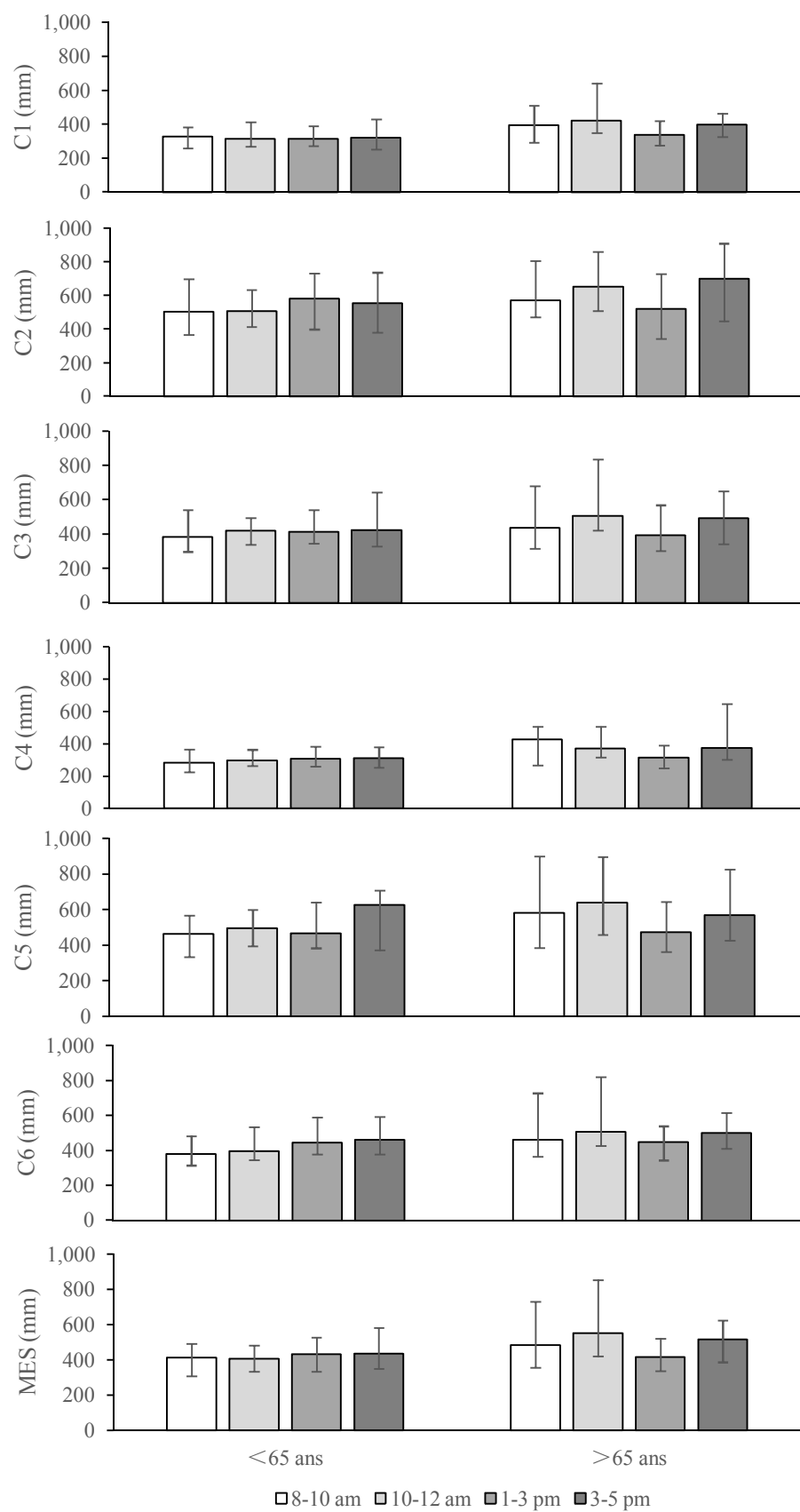


Figure 7. Comparaison de la longueur parcourue par le CPP entre les sujets de moins de 65 ans et ceux de plus de 65 ans. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile selon les différentes conditions d'essai.

IV.2.3 – Effet du sexe sur le contrôle postural

L'effet du sexe sur la surface d'oscillation est montré dans le tableau 15. Une hétérogénéité significative a été observée pendant le test en condition 1 ($p = 0,030$), condition 3 ($p = 0,013$), condition 5 ($p = 0,024$) et SME ($p = 0,030$). Les surfaces parcourues par le CPP chez les patients de sexe masculin enregistrées au cours des 4 périodes de la journée ont présenté de différences statistiquement significatives, alors qu'aucune différence n'a été observée chez les patientes de sexe féminin. Par ailleurs, aucune différence n'a été observée au niveau de la longueur d'oscillation entre les cohortes de sexes différents au cours de la journée (Tableau 16).

Tableau 15. Surface couverte par le centre de pression des pieds selon les 4 séances de la journée chez les patients de sexe différent.

Surface couverte (mm ²)	Groupe DM [*] (n1=19, n2=49) [*]	Groupe FM (n1=20, n2=38)	Groupe DA (n1=20, n2=42)	Groupe FA (n1=23, n2=30)	Kruskal-Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1[*]	276,8(206,9 , 362,0) 215,3(136,2 , 345,9)	288,6(155,9 , 402,2) 294,6(145,9 , 378,0)	165,7(128,8 , 206,8) 189,8(144,4 , 298,3)	176,2(130,9 , 228,9) 191,2(138,1 , 266,5)	0,030
C2	474,0(286,6 , 806,0) 327,5(205,7 , 494,9)	377,9(286,2 , 659,9) 334,6(220,6 , 568,1)	278,4(231,9 , 353,3) 326,0(214,5 , 511,9)	398,5(256,7 , 602,6) 277,8(187,3 , 396,1)	0,073
C3	348,0(305,6 , 513,0) 270,5(158,5 , 451,6)	442,3(311,2 , 664,8) 339,0(176,2 , 413,4)	244,0(151,5 , 434,9) 290,1(170,9 , 370,8)	310,7(225,1 , 452,4) 221,2(151,6 , 381,1)	0,013
C4	232,8(180,8 , 375,4) 184,0(122,4 , 307,3)	267,3(183,9 , 417,0) 208,5(136,1 , 311,9)	149,5(114,7 , 228,4) 194,2(138,1 , 252,8)	175,1(116,2 , 236,6) 183,4(126,2 , 256,0)	0,055
C5	418,8(301,3 , 578,8) 284,1(166,1 , 377,6)	436,7(292,8 , 731,4) 358,5(243,8 , 511,6)	234,8(201,7 , 362,8) 264,4(178,3 , 423,5)	388,1(198,5 , 533,0) 290,7(192,8 , 461,6)	0,024
C6	359,7(288,5 , 489,4) 270,2(153,5 , 445,7)	342,6(279,2 , 557,1) 314,0(189,1 , 487,6)	256,0(183,2 , 412,2) 309,2(200,2 , 515,1)	247,6(222,9 , 389,9) 300,0(217,2 , 497,3)	0,375
SME[*]	378,5(312,7 , 501,1) 266,7(176,2 , 405,8)	410,0(278,7 , 504,8) 320,1(190,8 , 455,9)	244,3(174,7 , 350,5) 278,5(174,5 , 424,4)	316,2(188,3 , 397,0) 247,1(202,9 , 326,2)	0,030

^{*} Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* N1 et n2 signifient respectivement les sujets masculins et féminins.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

Tableau 16. Longueur parcourue par le centre de pression des pieds selon les 4 périodes de la journée chez les patients de sexe différent.

Longueur parcourue (mm)	Groupe DM * (n1=19, n2=49)	Groupe FM (n1=20, n2=38)	Groupe DA (n1=20, n2=42)	Groupe FA (n1=23, n2=30)	Kruskal- Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) * Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1 *	331,0(261,1 , 458,4) 348,7(284,0 , 403,6)	367,0(290,5 , 540,5) 361,5(293,2 , 450,1)	337,6(270,6 , 460,6) 315,6(275,5 , 377,9)	418,9(341,3 , 543,5) 331,1(263,1 , 397,6)	0,182
C2	594,6(422,0 , 909,2) 546,3(408,2 , 708,4)	592,6(450,0 , 1173,5) 524,1(422,6 , 755,0)	588,7(420,9 , 742,4) 545,8(352,7 , 731,4)	774,0(547,1 , 998,5) 534,2(368,0 , 686,5)	0,086
C3	409,0(371,6 , 613,3) 416,1(297,3 , 568,8)	452,3(416,5 , 639,2) 430,1(333,1 , 626,4)	411,7(344,0 , 501,4) 409,7(308,7 , 568,0)	506,0(386,4 , 673,1) 423,6(311,6 , 617,3)	0,287
C4	313,0(254,7 , 458,8) 313,0(236,5 , 453,0)	361,1(290,7 , 459,0) 307,3(264,3 , 470,1)	292,9(258,5 , 402,5) 312,4(253,4 , 380,5)	372,0(316,6 , 427,4) 284,6(248,9 , 376,3)	0,287
C5	521,0(365,0 , 716,8) 509,9(353,1 , 682,0)	533,4(464,2 , 796,0) 504,8(390,8 , 774,5)	525,9(443,5 , 671,5) 462,6(368,9 , 639,0)	635,3(506,8 , 874,9) 461,8(360,8 , 690,6)	0,209
C6	392,0(365,2 , 558,6) 412,6(315,5 , 609,0)	496,2(371,2 , 673,2) 441,0(352,3 , 600,1)	446,5(309,1 , 491,6) 434,2(338,5 , 514,3)	500,7(449,5 , 613,1) 421,4(327,8 , 596,7)	0,304
SME *	446,1(352,2 , 629,4) 433,5(327,7 , 568,0)	442,6(416,6 , 663,1) 429,2(352,6 , 621,3)	439,4(329,2 , 539,6) 414,8(314 8 , 527,3)	549,1(437,1 , 673,9) 420,7(332,1 , 572,7)	0,154

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* N1 et n2 signifient respectivement les sujets masculins et féminins.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

L'analyse post-hoc a montré que les patients masculins avaient une plus petite surface couverte par le CPP en début d'après-midi que ceux testés en début de matinée en condition 1 ($p = 0,016$) (Tableau 17), condition 3 ($p = 0,047$) (Tableau 18), condition 5 ($p = 0,050$) (Tableau 20) et pour le SME ($p = 0,017$) (Tableau 21). Les sujets masculins ont également une plus petite surface couverte par le CPP en début d'après-midi que ceux mesurés en fin de matinée en condition 1 ($p = 0,047$) (Tableau 17), condition 3 ($p = 0,019$) (Tableau 18), condition 4 ($p = 0,014$) (Tableau 19), condition 5 ($p = 0,026$) (Tableau 20) et pour le SME ($p = 0,024$) (Tableau 21). Il n'y avait qu'une différence significative entre les patients masculins et féminins dans la même session de test. Il a été constaté que les sujets féminins avaient une plus petite surface d'oscillation que les sujets masculins en SME en début de matinée ($p = 0,044$) (Tableau 21).

Les figures 8 et 9 représentent une comparaison de la surface couverte et de la longueur parcourue par le CPP entre les sujets masculins et féminins dans les différentes conditions d'essai.

Tableau 17. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets de sexe différent en condition 1 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Groupe DM	Homme								
	Femme	0,288							
Groupe FM	Homme	0,908	0,559						
	Femme	0,823	0,509	0,992					
Groupe DA	Homme	0,016	0,175	0,047	0,026				
	Femme	0,016	0,887	0,358	0,286	0,352			
Groupe FA	Homme	0,125	0,718	0,274	0,224	0,638	0,925		
	Femme	0,075	0,585	0,190	0,132	0,677	0,848	0,992	

Tableau 18. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets de sexe différent en condition 3 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Groupe DM	Homme								
	Femme	0,076							
Groupe FM	Homme	0,954	0,027						
	Femme	0,184	0,904	0,084					
Groupe DA	Homme	0,047	0,801	0,019	0,611				
	Femme	0,060	0,981	0,021	0,826	0,883			
Groupe FA	Homme	0,349	0,809	0,201	0,968	0,536	0,730		
	Femme	0,027	0,754	0,009	0,539	0,999	0,857	0,474	

Tableau 19. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets de sexe différent en condition 4 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Groupe DM	Homme								
	Femme	0,222							
Groupe FM	Homme	0,828	0,043						
	Femme	0,654	0,625	0,256					
Groupe DA	Homme	0,074	0,612	0,014	0,232				
	Femme	0,290	0,988	0,067	0,734	0,552			
Groupe FA	Homme	0,260	0,987	0,070	0,640	0,767	0,961		
	Femme	0,226	0,987	0,052	0,600	0,737	0,957	0,999	

Tableau 20. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets de sexe différent en condition 5 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Groupe DM	Homme								
	Femme	0,058							
Groupe FM	Homme	0,974	0,026						
	Femme	0,572	0,275	0,406					
Groupe DA	Homme	0,050	0,877	0,026	0,216				
	Femme	0,071	0,999	0,033	0,318	0,868			
Groupe FA	Homme	0,563	0,466	0,415	0,991	0,341	0,503		
	Femme	0,242	0,810	0,145	0,723	0,611	0,838	0,843	

Tableau 21. Analyse post-hoc du SME de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets de sexe différent.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Groupe DM	Homme								
	Femme	0,044							
Groupe FM	Homme	0,987	0,064						
	Femme	0,205	0,723	0,267					
Groupe DA	Homme	0,017	0,666	0,024	0,327				
	Femme	0,061	0,995	0,086	0,791	0,633			
Groupe FA	Homme	0,277	0,781	0,346	0,998	0,395	0,833		
	Femme	0,054	0,989	0,075	0,694	0,778	0,973	0,746	

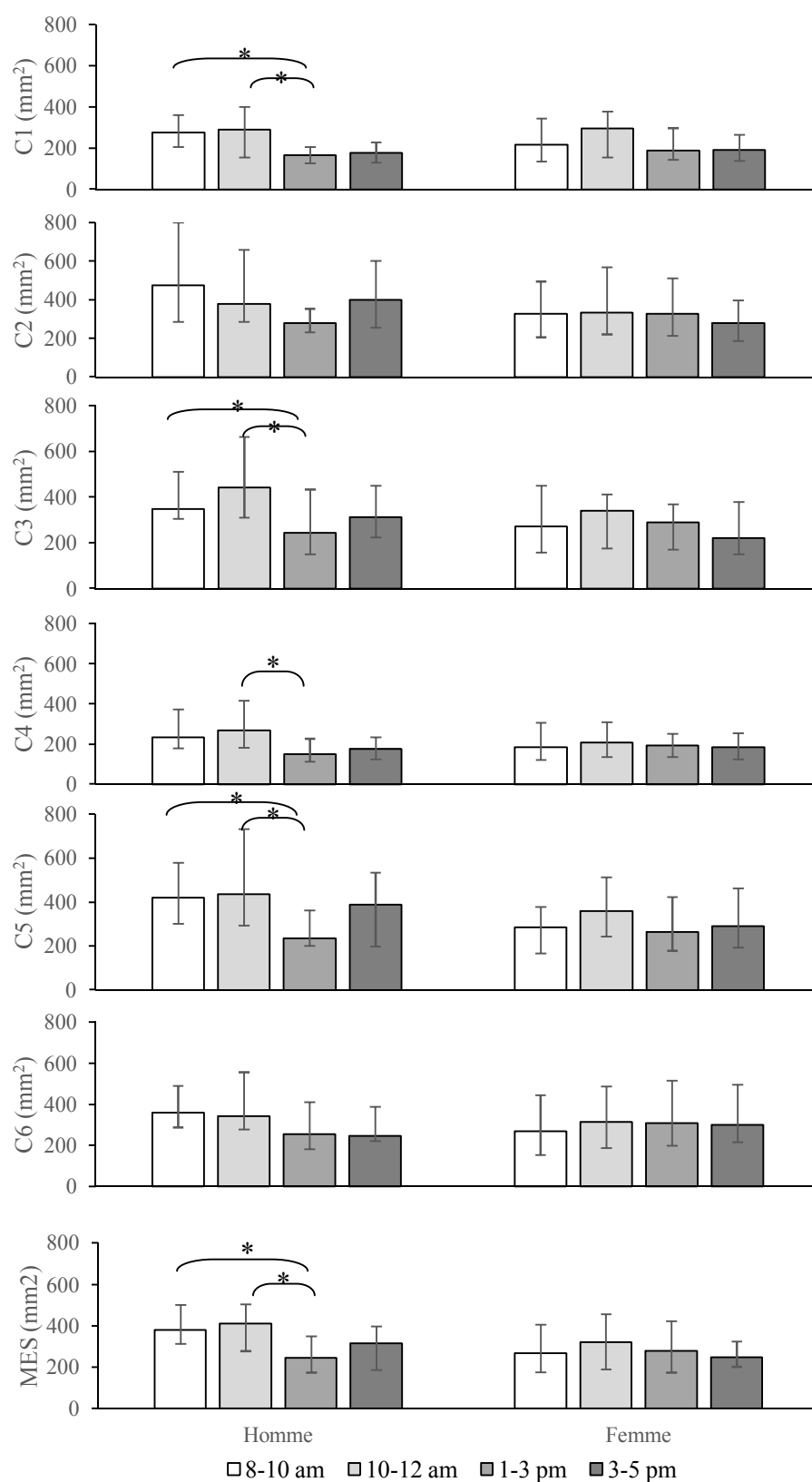


Figure 8. Comparaison de la surface couverte par le CPP entre les hommes et les femmes. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile dans les différentes conditions d'essai.

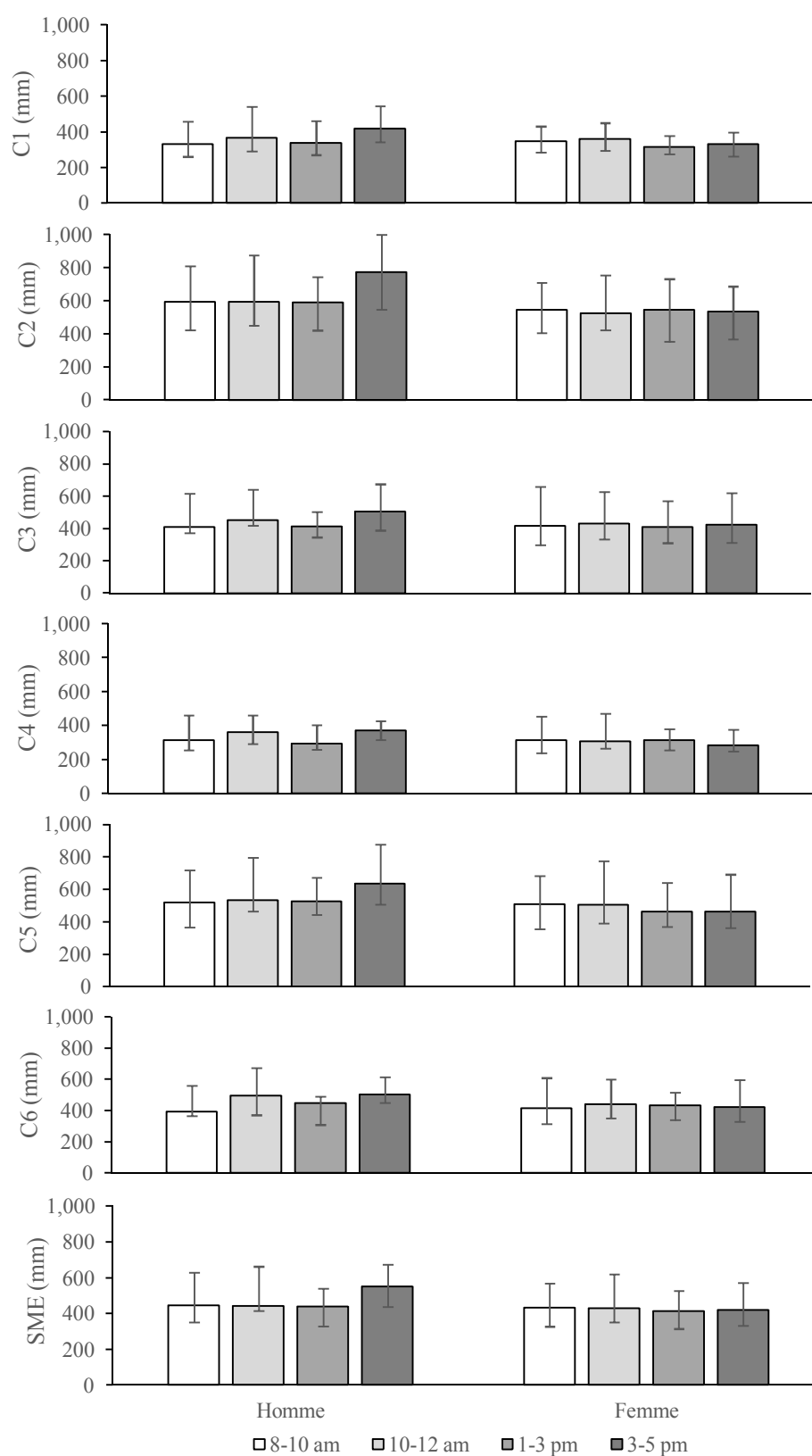


Figure 9. Comparaison de la longueur parcourue par le CPP entre les hommes et les femmes. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile dans les différentes conditions d'essai.

IV.2.4 – Effet du poids sur le contrôle postural

Aucune relation statistique n'a été observée entre la taille, l'indice de masse corporelle (IMC) et les performances du contrôle de l'équilibre mesurées au cours des différentes périodes chez les patients. Cependant, une hétérogénéité importante de la surface d'oscillation a été constatée chez les patients ayant des poids corporels différents en condition 1 ($p = 0.007$), condition 3 ($p = 0.001$) et condition 5 ($p = 0.008$) (Tableau 22). De plus, concernant la longueur parcourue par le CPP selon différents groupes de poids variable, aucune différence n'a été constatée (Tableau 23).

Tableau 22. Surface couverte par le centre de pression des pieds au cours des 4 périodes de la journée chez les patients de poids différent.

Surface couverte (mm ²)	Groupe DM [*] (n1=40, n2=28) [*]	Groupe FM (n1=28, n2=30)	Groupe DA (n1=31, n2=31)	Groupe FA (n1=25, n2=28)	Kruskal-Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) [*] Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1[*]	214,1(137,3 , 345,8) 245,5(187,9 , 397,5)	192,3(122,1 , 363,5) 313,4(224,3 , 404,0)	176,2(130,4 , 259,6) 199,0(152,2 , 268,7)	167,8(132,6 , 209,6) 188,3(135,2 , 255,9)	0,007
C2	326,5(192,1 , 485,5) 454,5(258,3 , 761,8)	260,3(209,7 , 518,5) 385,2(296,5 , 594,3)	266,7(188,5 , 374,9) 342,1(250,1 , 499,5)	287,0(185,2 , 526,9) 332,5(265,8 , 444,6)	0,077
C3	259,9(106,6 , 454,7) 366,3(270,3 , 463,0)	308,5(116,2 , 408,0) 413,2(313,9 , 649,9)	209,2(146,0 , 305,9) 320,0(266,7 , 514,7)	212,1(138,9 , 335,4) 311,6(216,7 , 444,4)	0,001
C4	173,5(115,6 , 328,1) 204,0(171,6 , 306,1)	200,3(132,4 , 306,4) 229,5(186,8 , 409,0)	158,9(115,5 , 227,2) 215,1(130,5 , 257,1)	155,1(110,8 , 222,4) 199,5(144,9 , 248,9)	0,055
C5	280,6(159,3 , 392,0) 341,8(283,2 , 536,0)	311,2(219,7 , 461,8) 456,6(338,8 , 592,0)	231,7(170,9 , 378,2) 275,8(203,6 , 451,0)	290,2(163,8 , 478,7) 388,1(247,9 , 463,6)	0,008
C6	282,5(147,8 , 417,7) 331,4(265,9 , 497,4)	280,5(149,8 , 462,6) 352,4(264,7 , 566,3)	254,0(182,9 , 509,0) 365,7(205,6 , 467,0)	267,9(220,1 , 431,9) 289,5(223,2 , 424,9)	0,301
SME[*]	302,4(175,5 , 408,5) 354,0(265,5 , 499,0)	285,0(169,2 , 415,7) 404,4(274,0 , 474,2)	226,1(164,1 , 377,8) 297,0(227,9 , 402,2)	228,9(177,2 , 506,5) 301,5(240,1 , 369,0)	0,056

^{*} Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ; Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

^{*} Le poids moyen de tous les patients était de 83.5 kg, n1 et n2 signifient respectivement les sujets de moins de 83.5 kg et ceux de plus de 83.5 kg.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

Tableau 23. Longueur parcourue par le centre de pression des pieds au cours des 4 périodes de la journée chez les patients de poids différent.

Longueur parcourue (mm)	Groupe DM [*] (n1=40, n2=28) [*]	Groupe FM (n1=28, n2=30)	Groupe DA (n1=31, n2=31)	Groupe FA (n1=25, n2=28)	Kruskal- Wallis
	Médiane1 (Q1,Q3) [*] Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	Médiane1 (Q1,Q3) Médiane2 (Q1,Q3)	P
C1 [*]	330,6(257,9 , 403,7) 371,8(300,2 , 445,5)	306,6(265,5 , 435,5) 395,6(337,7 , 548,0)	309,0(267,3 , 337,6) 348,9(276,0 , 466,3)	398,6(297,4 , 455,3) 360,0(271,0 , 440,1)	0,068
C2	529,6(361,7 , 698,3) 603,9(459,7 , 806,8)	508,0(407,7 , 597,9) 655,4(485,0 , 901,7)	482,4(342,8 , 651,8) 629,8(472,1 , 786,1)	649,8(411,9 , 845,7) 621,9(426,7 , 777,7)	0,102
C3	399,4(291,1 , 576,6) 460,3(373,4 , 594,6)	404,1(314,8 , 549,1) 459,3(419,2 , 704,5)	350,7(277,6 , 417,3) 453,3(398,1 , 589,1)	463,5(311,0 , 605,2) 493,1(366,8 , 651,0)	0,278
C4	321,3(222,8 , 464,6) 311,9(263,1 , 434,1)	288,0(253,5 , 368,6) 366,2(306,7 , 488,1)	270,7(227,8 , 320,1) 364,3(292,9 , 422,1)	358,8(256,0 , 404,6) 352,8(279,9 , 385,1)	0,453
C5	481,6(329,5 , 671,5) 556,2(390,2 , 723,9)	488,9(384,2 , 614,6) 575,8(481,5 , 841,0)	445,1(337,3 , 516,8) 595,1(448,6 , 740,2)	502,6(349,5 , 788,9) 635,1(422,3 , 815,6)	0,096
C6	393,0(289,8 , 607,9) 427,9(368,6 , 584,3)	407,8(319,6 , 562,1) 496,2(384,6 , 744,9)	361,3(286,9 , 466,7) 486,0(392,5 , 586,5)	452,6(348,9 , 598,8) 493,8(408,5 , 601,6)	0,371
SME [*]	416,0(289,3 , 541,1) 445,4(387,5 , 602,5)	413,3(334,4 , 506,0) 474,9(419,0 , 713,1)	372,6(305,3 , 472,6) 480,6(400,9 , 618,6)	493,2(338,0 , 591,9) 466,8(383,2 , 587,0)	0,574

* Début de matinée (DM) : 8-10 am ; Fin de matinée (FM) : 10-12 am ; Début d'après-midi (DA) : 1-3 pm ;
Fin d'après-midi (FA) : 3-5 pm.

* Le poids moyen de tous les patients était de 83.5 kg, n1 et n2 signifient respectivement les sujets de moins de 83.5 kg et ceux de plus de 83.5 kg.

* Q₁, Q₃ signifient respectivement le 25^e et le 75^e percentile.

* C1-C6 signifient respectivement 6 conditions expérimentales différentes du test d'équilibre.

* SME – Score moyen d'équilibre.

L'analyse post-hoc a montré que les patients plus lourds ont une plus petite surface couverte par le CPP en début d'après-midi que ceux testés en fin de matinée en condition 1 ($p = 0,013$) (Tableau 24) et condition 5 ($p = 0,027$) (Tableau 26). Les sujets plus lourds ont également une plus petite surface couverte en fin d'après-midi que ceux mesurés en fin de matinée en condition 1 ($p = 0,012$) (Tableau 24). La comparaison des sujets, ayant un poids différent, évalués au cours de la même période a montré que les sujets plus légers avaient une plus petite surface couverte en fin de matinée que ceux étant plus lourds en condition 1 ($p = 0,036$) (Tableau 24) et condition 3 ($p = 0,032$) (Tableau 25). Par ailleurs, les patients plus légers ont également présenté une plus petite surface couverte par le CPP en début d'après-midi que ceux plus lourds évalués au cours de la même période en condition 3 ($p = 0,029$) (Tableau 25).

Les figures 10 et 11 comparent les sujets de poids différents au niveau de la surface et de la longueur dans les différentes conditions d'essai.

Tableau 24. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds entre chaque cohorte de sujets du poids différent en condition 1 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg
Groupe DM	< 83.5 kg								
	> 83.5kg	0,479							
Groupe FM	< 83.5 kg	0,945	0,360						
	> 83.5kg	0,049	0,533	0,036					
Groupe DA	< 83.5 kg	0,473	0,076	0,723	0,003				
	> 83.5kg	0,802	0,214	0,958	0,013	0,870			
Groupe FA	< 83.5 kg	0,570	0,117	0,792	0,006	0,997	0,917		
	> 83.5kg	0,770	0,204	0,939	0,012	0,908	0,997	0,945	

Tableau 25. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets du poids différent en condition 3 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg
Groupe DM	< 83.5 kg								
	> 83.5kg	0,174							
Groupe FM	< 83.5 kg	0,997	0,171						
	> 83.5kg	0,022	0,778	0,032					
Groupe DA	< 83.5 kg	0,254	0,003	0,353	0,002				
	> 83.5kg	0,504	0,740	0,516	0,316	0,029			
Groupe FA	< 83.5 kg	0,770	0,053	0,836	0,007	0,733	0,225		
	> 83.5kg	0,801	0,493	0,789	0,158	0,099	0,906	0,448	

Tableau 26. Analyse post-hoc de la surface couverte par le centre de pression des pieds pour chaque cohorte de sujets du poids différent en condition 5 du test d'équilibre.

Nemenyi test		Groupe DM		Groupe FM		Groupe DA		Groupe FA	
P		< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg	< 83.5 kg	> 83.5kg
Groupe DM	< 83.5 kg								
	> 83.5kg	0,202							
Groupe FM	< 83.5 kg	0,827	0,557						
	> 83.5kg	0,005	0,435	0,057					
Groupe DA	< 83.5 kg	0,785	0,066	0,475	0,001				
	> 83.5kg	0,928	0,409	0,974	0,027	0,595			
Groupe FA	< 83.5 kg	0,973	0,383	0,945	0,029	0,702	0,993		
	> 83.5kg	0,329	0,963	0,722	0,291	0,123	0,573	0,535	

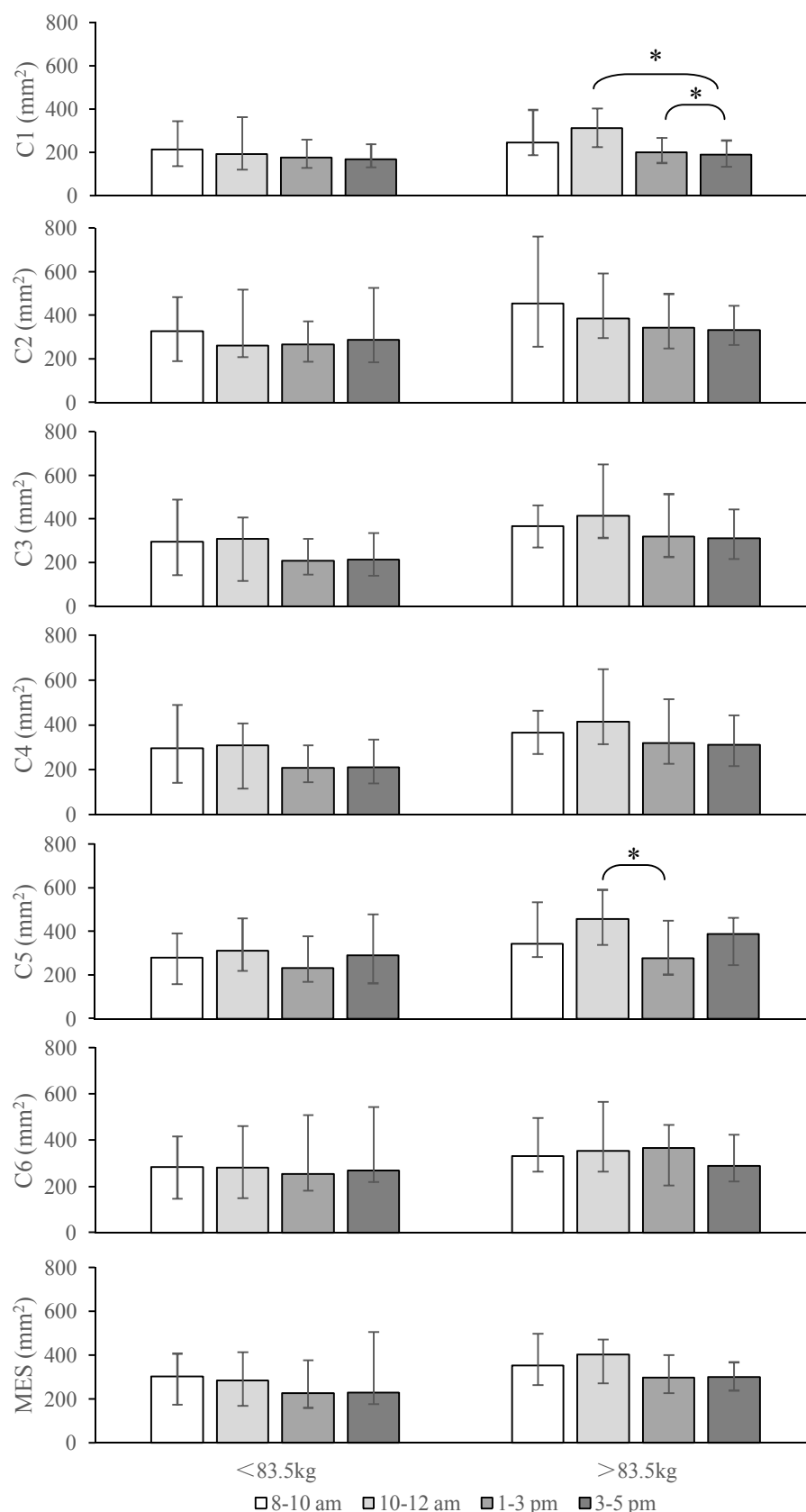


Figure 10. Comparaison de la surface couverte par le CPP chez les sujets de poids différent. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile dans les différentes conditions d'essai.

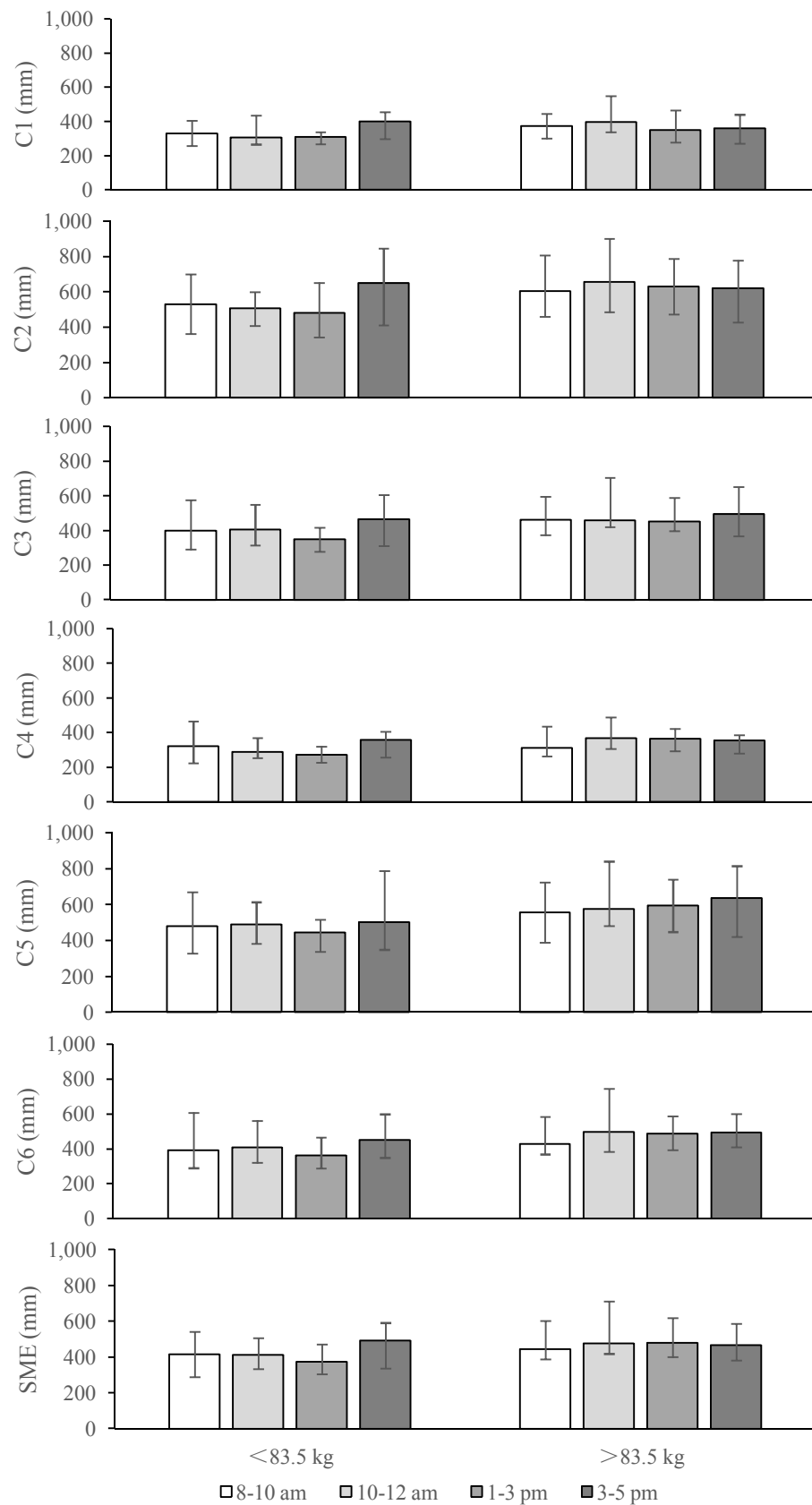


Figure 11. Comparaison de la longueur parcourue par le CPP chez les sujets de poids différent. Ordonnées : valeurs médianes avec un 25^e et un 75^e percentile dans les différentes conditions d'essai.

IV.3 – RESULTATS DU SUIVI LONGITUDINAL

Une fois la cure thermique débutée, une randomisation a été réalisée pour séparer les patients en deux groupes : un groupe ayant suivi une thérapie classique en l'eau thermale et un groupe ayant suivi une cure active avec des soins en l'eau thermale et des programmes de rééducation individuels et ciblés. Les données posturographiques ont été recueillies avant la cure, à 3 semaines, à 6 semaines, et à 3 mois.

Deux cent quatre-vingt quatre patients souffrant d'une gonarthrose symptomatique ont été recrutés pour la cure. Parmi les 284 sujets inclus, 241 ont réalisé les 4 tests d'équilibre au cours des 3 mois de suivi (Figure 2). Le tableau 2 a déjà présenté les caractéristiques démographiques des patients dans les deux groupes d'hydrothérapie.

En raison des mesures répétées lors des suivis, une analyse de variation de modèle mixte a été effectuée ainsi qu'une analyse de facteurs de traitement et de l'interaction. Une comparaison entre les deux groupes a été réalisée à partir d'une analyse de variation multi-variables. Par conséquent les résultats décrits ci-dessous seront présentés dans l'ordre du contrôle de corrélation et d'interaction entre les données. S'en suit une comparaison entre les deux groupes d'hydrothérapie.

IV.3.1 – Contrôle de corrélation et interaction

En premier lieu, la corrélation entre les données enregistrées au cours de chaque test a été analysée statistiquement par le test de Mauchly de sphéricité. Lorsque le résultat présente un $p > 0,05$, cela signifie qu'il n'y a pas de corrélation entre les données enregistrées au cours de chaque test. En revanche, si $p \leq 0,05$, il existe une forte corrélation entre les résultats des quatre suivis. Dans ce cas, une analyse de variation multi-variables devra être mise en œuvre permettant une analyse post-hoc entre les deux groupes.

Les tableaux 27 et 28 ont présenté respectivement les résultats du test de sphéricité concernant la surface et la longueur d'oscillation chez les patients.

Tableau 27. Résultats du test de Mauchly de Sphéricité concernant la surface couverte par le centre de pression des pieds selon des différentes conditions d’essai.

Conditions d’essai	W de Mauchly	Approx. Chi-carré	df	Sig.
C1	0,673	94,268	5	0,000
C2	0,846	39,622	5	0,000
C3	0,064	65,266	5	0,000
C4	0,880	30,388	5	0,000
C5	0,888	28,313	5	0,000
C6	0,813	49,122	5	0,000
SME	0,357	24,591	5	0,000

Tableau 28. Résultats du test de Mauchly de Sphéricité concernant la longueur parcourue par le centre de pression des pieds selon des différentes conditions d’essai.

Conditions d’essai	W de Mauchly	Approx. Chi-carré	df	Sig.
C1	0,732	72,221	5	0,000
C2	0,833	43,505	5	0,000
C3	0,277	305,498	5	0,000
C4	0,995	1,260	5	0,939
C5	0,820	47,283	5	0,000
C6	0,786	57,174	5	0,000
SME	0,616	115,254	5	0,000

Les tableaux ci-dessus ont montré des fortes corrélations entre les données dans presque toutes les conditions d'essai. Ainsi l'impact que peuvent avoir le suivi, le groupe, et l'interaction entre le suivi et le groupe sur les résultats devraient être davantage explorés.

Les tableaux 29 et 30 ont présenté respectivement les résultats des tests en lien avec les facteurs intra-sujet ou inter-sujet sur la surface et la longueur d'oscillation chez les patients. Dans notre étude, le facteur intra-sujet était le suivi, le facteur inter-sujet était le groupe, et le suivi $\times$ groupe était également pris en compte comme un facteur intra-sujet. Les valeurs obtenues représentent les valeurs de p en statistique.

Tableau 29. Test de l'effet des facteurs intra-sujet et inter-sujet sur la surface couverte.

Conditions d'essai	Suivi	Groupe	Suivi $\times$ Groupe
C1	0,000	0,053	0,172
C2	0,000	0,083	0,413
C3	0,157	0,731	0,528
C4	0,000	0,097	0,292
C5	0,038	0,175	0,005
C6	0,076	0,378	0,180
SME	0,000	0,173	0,106

Tableau 30. Test de l'effet de facteurs intra-sujet ou inter-sujet sur la longueur parcourue.

Conditions d'essai	Suivi	Groupe	Suivi × Groupe
C1	0,024	0,459	0,022
C2	0,000	0,856	0,192
C3	0,003	0,544	0,613
C4	0,004	0,804	0,009
C5	0,001	0,838	0,185
C6	0,054	0,629	0,254
SME	0,000	0,971	0,121

Les résultats dans les tableaux ci-dessus ont montré que le facteur « suivi » dans la plupart des conditions d'essai était statistiquement significatif ($p \leq 0,05$), ce qui indiquait que le paramètre mesuré (surface ou longueur parcourue) avait tendance à varier au fil du suivi. Cependant, le facteur « groupe » n'était pas statistiquement significatif, indiquant que le groupement expérimental n'influait pas les résultats. Par ailleurs, le facteur « interaction entre le suivi et le groupe » sur lequel étaient mesurés les paramètres n'était pas statistiquement significatif dans la plupart des conditions d'essai, ce qui signifiait que le facteur « suivi » ne variait pas en fonction d'un groupement expérimental différent.

IV.3.2 – Comparaison entre les deux groupes d'hydrothérapie

Après avoir fait les contrôles de corrélation et d'interaction, des multi-variables ANOVA ont été mises en œuvre pour comparer les deux groupes cure thermique.

La comparaison de la surface d'oscillation entre les groupes a été présentée dans le tableau 31. Avant la cure thermique, les patients dans les deux groupes avaient à peu près la même capacité à contrôler leur équilibre dans les six conditions d'essai, à l'exception des conditions 1 ($p = 0,046$) et 2 ($p = 0,050$). Six semaines après le début du traitement thermique (visite 2), des différences significatives ont été observées entre les deux groupes

notamment en condition 1 ($p = 0,031$), condition 4 ($p = 0,028$), condition 5 ($p = 0,025$) et pour le SME ($p = 0,020$). Aucune différence n'a été observée lors des visites 1 et 3.

La comparaison de la longueur d'oscillation entre les deux groupes a été présentée dans le tableau 32. Les deux groupes de patients avaient des variations similaires au cours des quatre périodes de test posturographique ainsi, aucune différence sur ce paramètre n'a été observée dans toutes les conditions du test.

Parallèlement, les variations inter-groupes ont également été révélées dans nos études. Concernant la surface couverte par le CPP, les tableaux 33 et 34 ont présenté respectivement les variations pendant les quatre périodes de suivi dans les deux groupes. Nous avons constaté que la surface d'oscillation a diminué en visite 1 ($p = 0,005$), visite 2 ($p = 0,012$), et visite 3 ($p < 0,05$) par rapport à la visite 0 dans le groupe cure classique. Mais dans le groupe cure active, les patients ont une plus petite surface d'oscillation en visite 2 qu'en visite 0 ($p = 0,021$), visite 1 ($p = 0,005$), et visite 3 ($p = 0,009$). Par ailleurs, la longueur d'oscillation a également présenté des différences dans chaque groupe. Les tableaux 35 et 36 ont montré respectivement les variations de longueur parcourue pendant les quatre périodes de suivi dans le groupe cure classique et active. Selon les données, nous pouvons observer une même tendance de variation sur la longueur d'oscillation que celle de la surface couverte. Elle diminue également en visite 1 ($p < 0,05$), visite 2 ($p < 0,05$), et visite 3 ($p < 0,05$) par rapport à la visite 0 dans le groupe cure classique. Cependant, la longueur d'oscillation dans le groupe cure active a révélé une valeur plus élevée en visite 2 par rapport à visite 3 qui présentait une tendance de variation inverse par rapport à celle de la surface couverte. En effet, il y avait une plus petite surface d'oscillation en visite 3 qu'en visite 2 ($p < 0,05$).

Les figures 12 et 13 ont respectivement montré les variations dans toutes les conditions du test d'équilibre, de la surface couverte et de la longueur parcourue dans les deux groupes de patients au cours des quatre périodes de suivi. En ce qui concerne la surface couverte par le CPP, tous les deux groupes ont montré des valeurs inférieures lorsque les traitements aquatiques ont été réalisés en comparaison à la visite 0. A la fin du traitement, la surface couverte a à nouveau augmenté (Figure 12). En outre, les deux groupes ont montré des tendances similaires de la longueur parcourue au cours des quatre suivis qui pourraient également refléter la variation de la stabilité posturale (Figure 13).

Tableau 31. Comparaison de la surface couverte par le centre de pression des pieds au cours des quatre périodes de suivi entre les deux groupes de patients.

Paramètres (Moyenne $\pm$ écart-type)	Groupe cure classique (n = 126, en mm ²)	Groupe cure active (n = 115, en mm ²)	Multi-variables ANOVA P
V0_C1	279,4 $\pm$ 156,8	234,0 $\pm$ 194,4	0,046
V0_C2	465,9 $\pm$ 364,3	384,2 $\pm$ 264,8	0,050
V0_C3	405,7 $\pm$ 308,9	423,4 $\pm$ 154,6	0,869
V0_C4	258,3 $\pm$ 167,8	217,5 $\pm$ 158,9	0,054
V0_C5	428,1 $\pm$ 324,7	356,9 $\pm$ 239,5	0,056
V0_C6	415,4 $\pm$ 342,7	376,2 $\pm$ 246,5	0,314
V0_SME	375,5 $\pm$ 238,6	332,0 $\pm$ 269,4	0,186
V1_C1	221,5 $\pm$ 113,7	223,3 $\pm$ 123,1	0,591
V1_C2	427,3 $\pm$ 351,9	375,1 $\pm$ 234,6	0,181
V1_C3	330,7 $\pm$ 236,6	345,8 $\pm$ 296,8	0,662
V1_C4	229,6 $\pm$ 168,0	210,8 $\pm$ 133,7	0,340
V1_C5	355,3 $\pm$ 244,8	352,7 $\pm$ 229,1	0,931
V1_C6	358,5 $\pm$ 263,1	357,5 $\pm$ 215,0	0,974
V1_SME	320,5 $\pm$ 191,2	309,2 $\pm$ 167,4	0,627
V2_C1	231,4 $\pm$ 145,5	196,5 $\pm$ 97,7	0,031
V2_C2	390,1 $\pm$ 266,1	327,1 $\pm$ 283,5	0,076
V2_C3	375,2 $\pm$ 310,8	313,5 $\pm$ 225,5	0,082
V2_C4	214,0 $\pm$ 137,9	180,5 $\pm$ 90,1,	0,028
V2_C5	408,7 $\pm$ 343,8	321,1 $\pm$ 24,0	0,025
V2_C6	394,4 $\pm$ 295,9	332,0 $\pm$ 24,9	0,078
V2_SME	335,6 $\pm$ 208,2	278,5 $\pm$ 165,1	0,020
V3_C1	220,7 $\pm$ 117,9	203,5 $\pm$ 113,8	0,252
V3_C2	389,3 $\pm$ 296,6	360,5 $\pm$ 253,0	0,421
V3_C3	346,0 $\pm$ 254,1	321,3 $\pm$ 240,9	0,442
V3_C4	203,3 $\pm$ 113,7	199,1 $\pm$ 199,2	0,840
V3_C5	359,2 $\pm$ 262,1	353,7 $\pm$ 281,1	0,875
V3_C6	386,1 $\pm$ 306,8	383,8 $\pm$ 277,2	0,591
V3_SME	317,4 $\pm$ 181,9	303,7 $\pm$ 186,3	0,562

Tableau 32. Comparaison de la longueur parcourue par le centre de pression des pieds au cours des quatre périodes de suivi entre les deux groupes de patients.

Paramètres	Groupe cure classique	Groupe cure active	Multi-variables ANOVA
(Moyenne $\pm$ écart-type)	(n = 126, en mm)	(n = 115, en mm)	P
V0_C1	390,7 $\pm$ 160,7	387,0 $\pm$ 210,8	0,878
V0_C2	676,1 $\pm$ 410,3	667,4 $\pm$ 407,5	0,869
V0_C3	572,7 $\pm$ 469,4	528,6 $\pm$ 483,9	0,474
V0_C4	368,2 $\pm$ 150,0	351,3 $\pm$ 140,6	0,367
V0_C5	603,7 $\pm$ 330,6	595,3 $\pm$ 362,7	0,852
V0_C6	531,9 $\pm$ 330,4	495,2 $\pm$ 286,6	0,360
V0_SME	523,9 $\pm$ 286,6	504,1 $\pm$ 286,6	0,594
V1_C1	369,5 $\pm$ 148,1	381,3 $\pm$ 150,9	0,541
V1_C2	625,3 $\pm$ 348,9	632,4 $\pm$ 351,8	0,876
V1_C3	514,1 $\pm$ 346,0	492,8 $\pm$ 246,4	0,587
V1_C4	343,3 $\pm$ 131,5	353,3 $\pm$ 127,9	0,548
V1_C5	556,1 $\pm$ 286,5	593,5 $\pm$ 301,1	0,325
V1_C6	500,4 $\pm$ 267,2	493,3 $\pm$ 237,9	0,830
V1_SME	484,8 $\pm$ 240,0	491,1 $\pm$ 220,0	0,832
V2_C1	372,4 $\pm$ 150,0	412,2 $\pm$ 176,3	0,059
V2_C2	605,8 $\pm$ 328,4	648,8 $\pm$ 340,1	0,319
V2_C3	514,5 $\pm$ 318,0	502,1 $\pm$ 233,7	0,731
V2_C4	352,9 $\pm$ 145,8	372,1 $\pm$ 138,5	0,296
V2_C5	584,1 $\pm$ 355,3	582,7 $\pm$ 278,1	0,972
V2_C6	500,3 $\pm$ 288,4	499,4 $\pm$ 242,0	0,979
V2_SME	488,3 $\pm$ 243,9	502,9 $\pm$ 217,6	0,627
V3_C1	370,3 $\pm$ 141,4	378,9 $\pm$ 150,0	0,647
V3_C2	612,7 $\pm$ 331,0	602,0 $\pm$ 305,8	0,796
V3_C3	497,5 $\pm$ 279,6	478,2 $\pm$ 226,0	0,558
V3_C4	343,9 $\pm$ 127,3	347,9 $\pm$ 137,5	0,813
V3_C5	551,9 $\pm$ 304,7	555,4 $\pm$ 260,8	0,925
V3_C6	496,3 $\pm$ 281,2	477,1 $\pm$ 208,4	0,550
V3_SME	478,8 $\pm$ 227,4	473,2 $\pm$ 200,1	0,842

Tableau 33. Comparaison inter-groupe de la surface couverte dans le groupe cure classique au cours des quatre suivis. Les valeurs du tableau sont des résultats statistiques.

	V0 & V1	V1 & V2	V2 & V3	V0 & V2	V1 & V3	V0 & V3
C1	0,000	0,367	0,283	0,001	0,932	0,000
C2	0,156	0,081	0,963	0,004	0,098	0,008
C3	0,000	0,026	0,164	0,171	0,349	0,004
C4	0,086	0,212	0,318	0,005	0,027	0,000
C5	0,003	0,009	0,020	0,481	0,813	0,005
C6	0,021	0,058	0,728	0,389	0,283	0,356
SME	0,000	0,084	0,052	0,012	0,732	0,000

Tableau 34. Comparaison inter-groupe de la surface couverte dans le groupe cure active au cours des quatre suivis. Les valeurs dans le tableau sont des résultats statistiques.

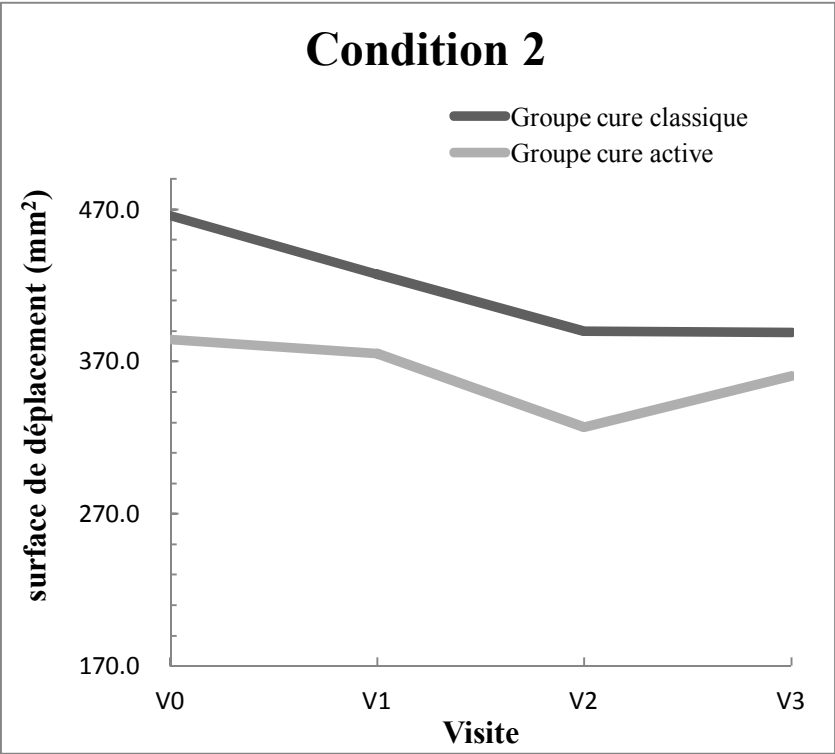
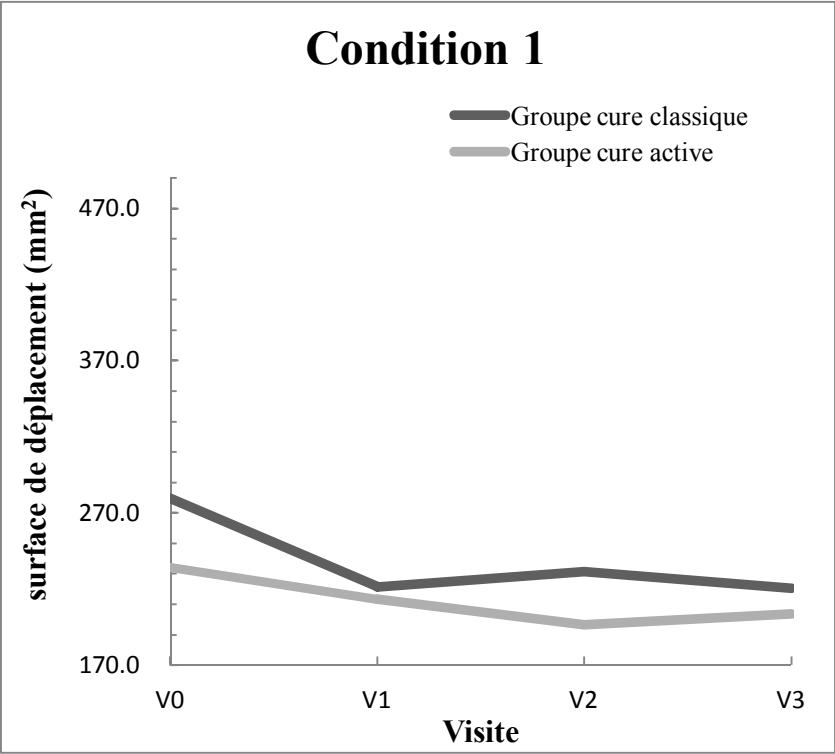
	V0 & V1	V1 & V2	V2 & V3	V0 & V2	V1 & V3	V0 & V3
C1	0,180	0,110	0,498	0,036	0,333	0,083
C2	0,631	0,020	0,087	0,333	0,384	0,271
C3	0,463	0,191	0,695	0,311	0,361	0,343
C4	0,596	0,015	0,236	0,008	0,549	0,310
C5	0,797	0,073	0,048	0,053	0,960	0,876
C6	0,349	0,149	0,009	0,034	0,253	0,743
SME	0,258	0,005	0,009	0,021	0,617	0,223

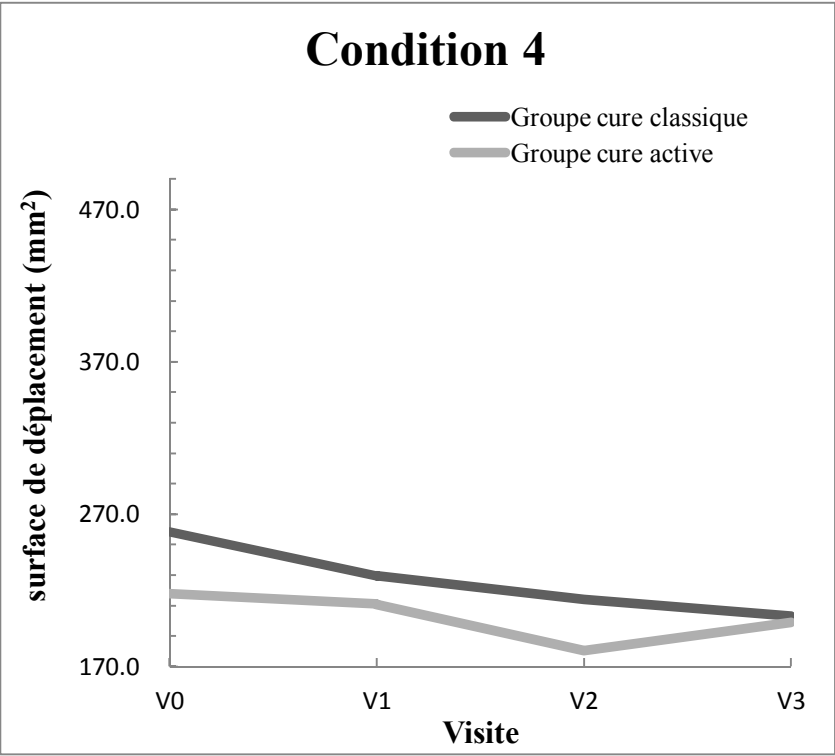
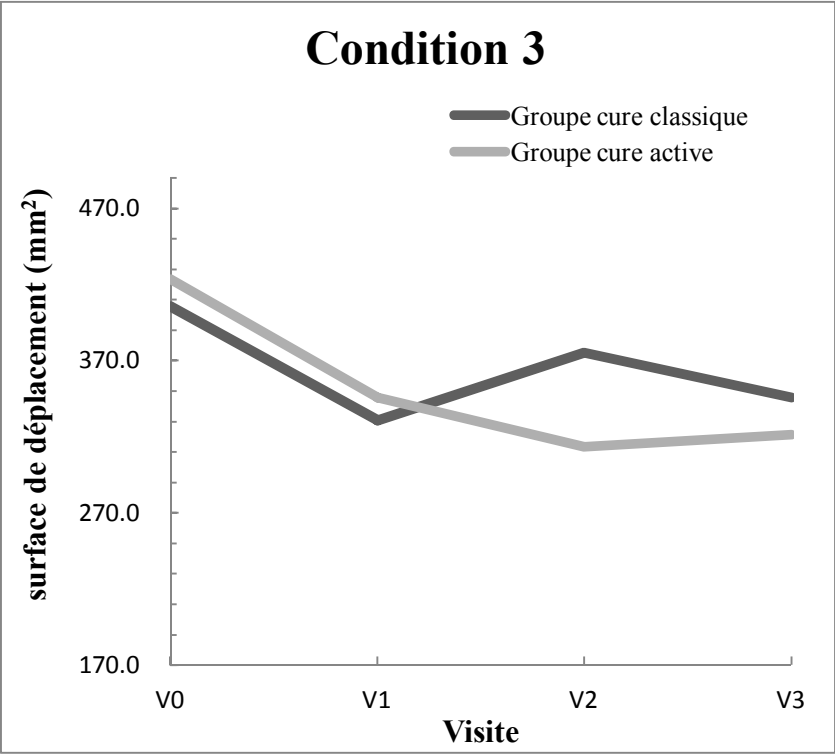
Tableau 35. Comparaison inter-groupe de la longueur parcourue dans le groupe cure classique au cours des quatre suivis. Les valeurs dans le tableau sont des résultats statistiques.

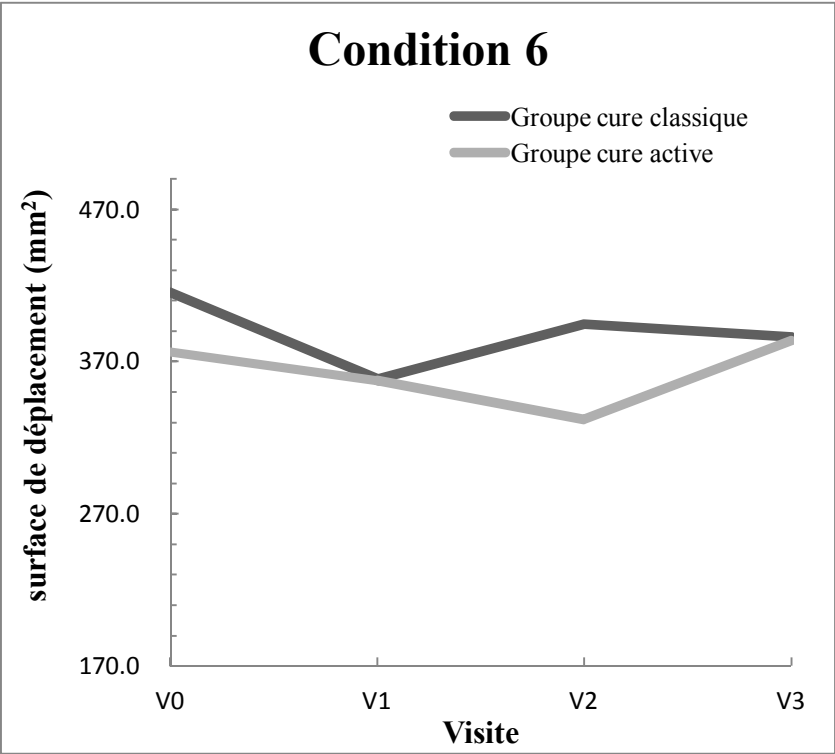
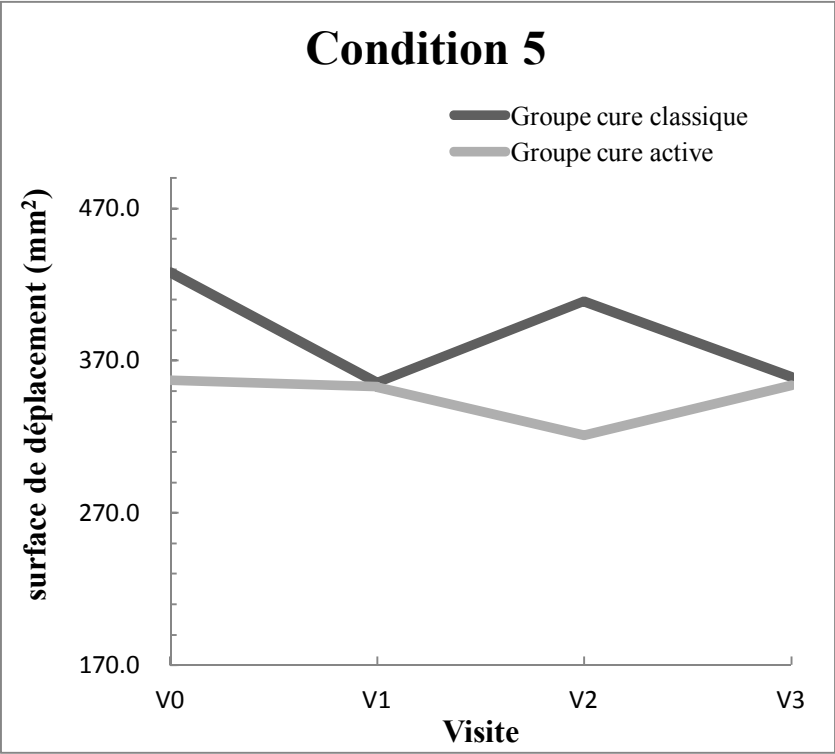
	V0 & V1	V1 & V2	V2 & V3	V0 & V2	V1 & V3	V0 & V3
C1	0,018	0,717	0,768	0,030	0,923	0,028
C2	0,009	0,290	0,657	0,002	0,496	0,005
C3	0,001	0,971	0,168	0,003	0,322	0,002
C4	0,001	0,138	0,241	0,061	0,933	0,006
C5	0,001	0,049	0,048	0,186	0,795	0,006
C6	0,011	0,997	0,758	0,013	0,790	0,045
SME	0,000	0,648	0,241	0,000	0,578	0,000

Tableau 36. Comparaison inter-groupe de la longueur parcourue dans le groupe cure active au cours des quatre suivis. Les valeurs dans le tableau sont les résultats statistiques.

	V0 & V1	V1 & V2	V2 & V3	V0 & V2	V1 & V3	V0 & V3
C1	0,667	0,001	0,000	0,049	0,783	0,579
C2	0,087	0,310	0,008	0,405	0,120	0,005
C3	0,217	0,524	0,033	0,450	0,154	0,135
C4	0,801	0,034	0,002	0,004	0,487	0,641
C5	0,898	0,413	0,046	0,499	0,008	0,052
C6	0,890	0,637	0,035	0,755	0,236	0,238
SME	0,223	0,172	0,000	0,925	0,037	0,041







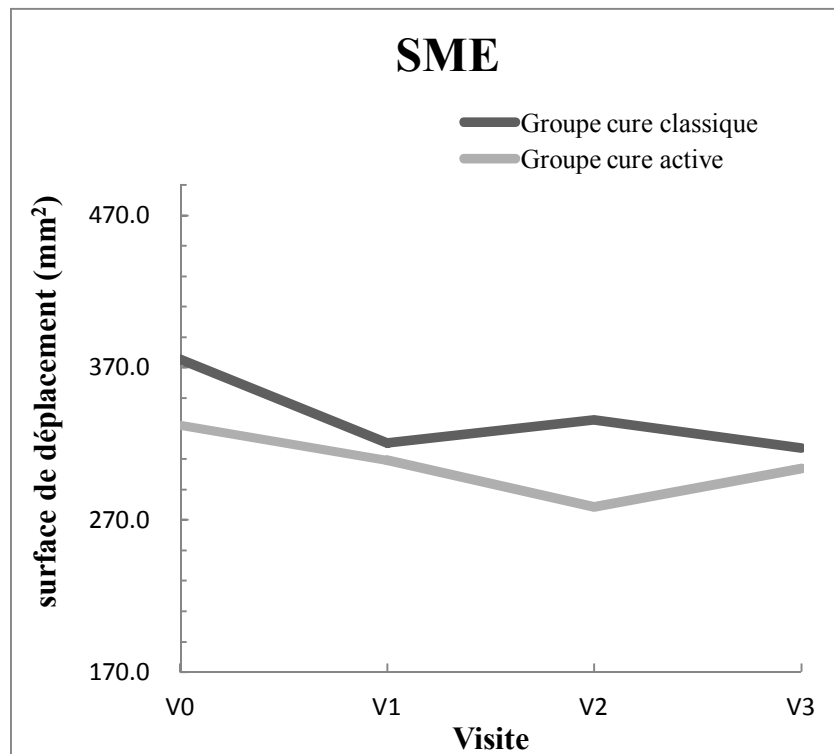
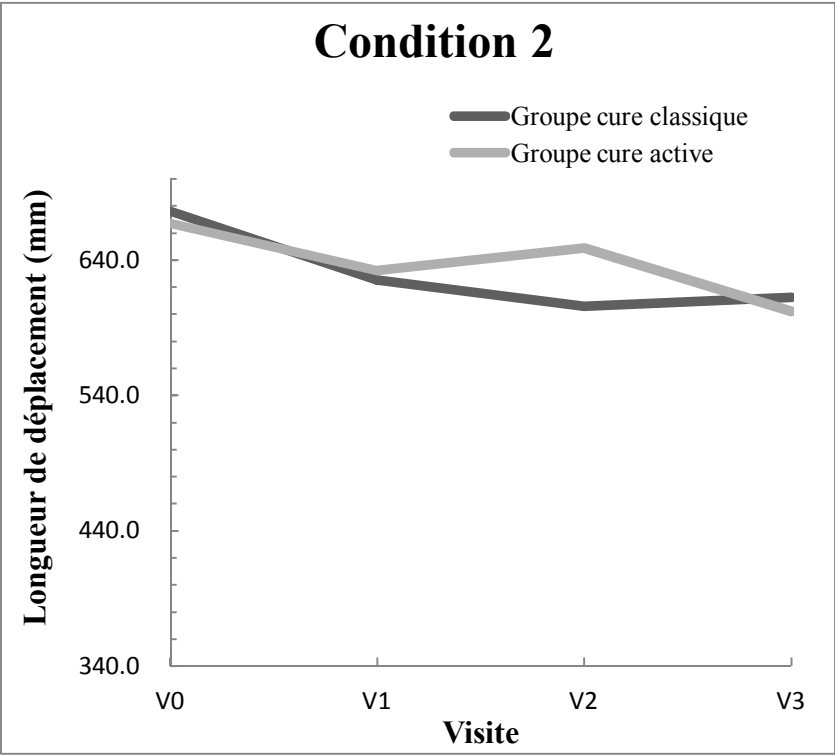
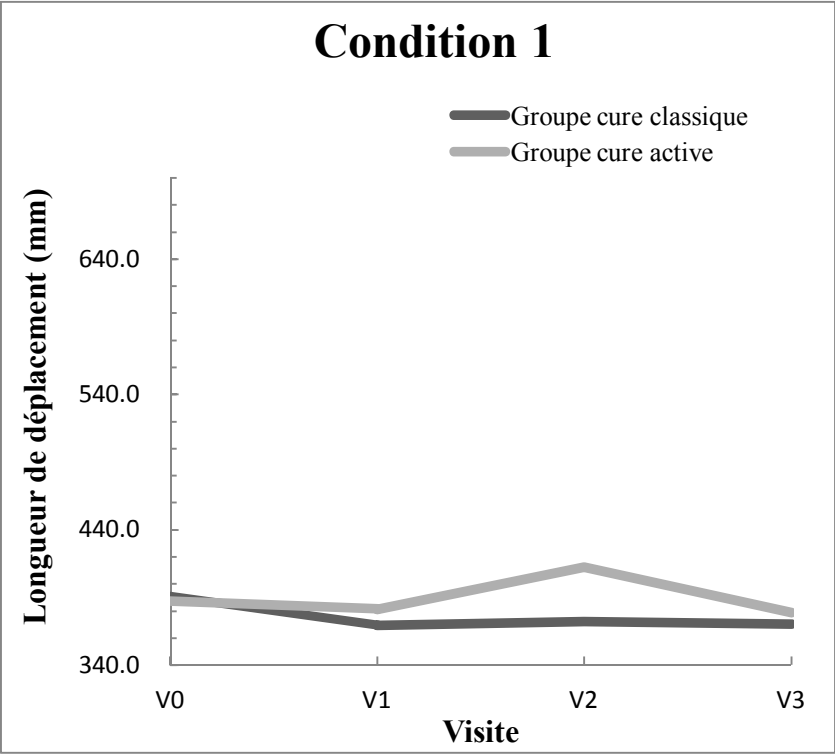
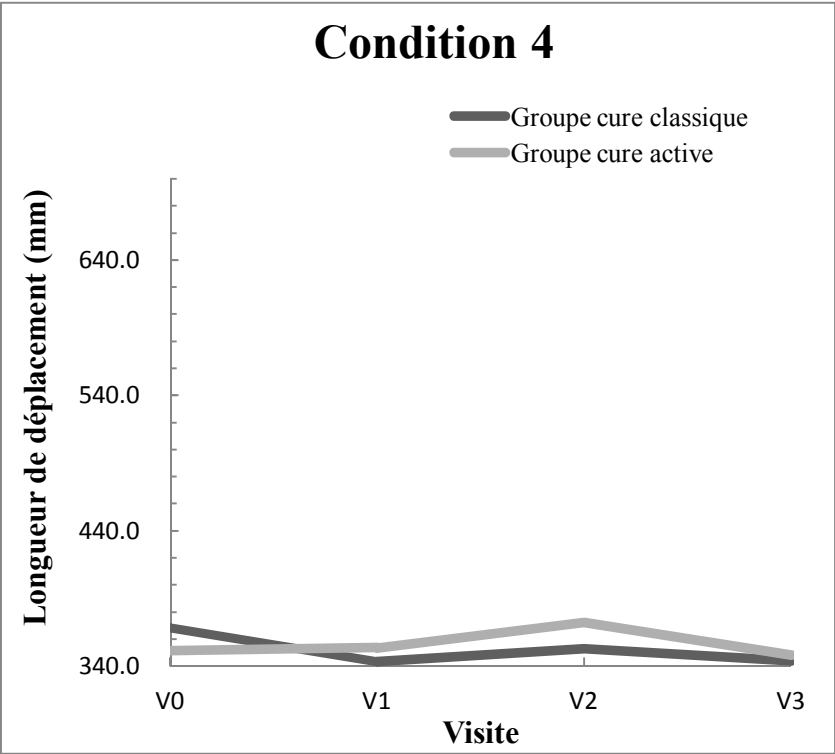
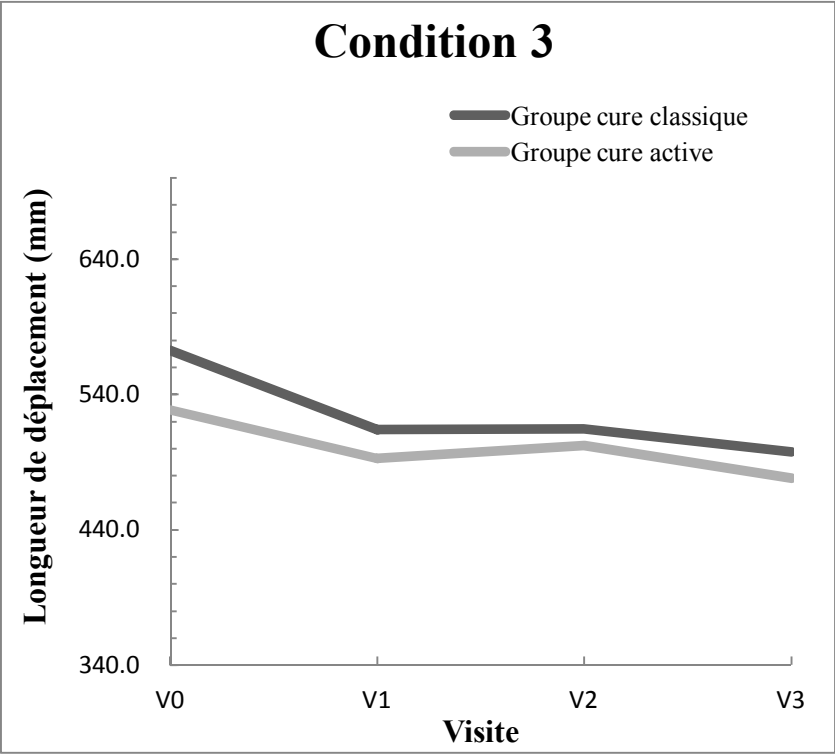
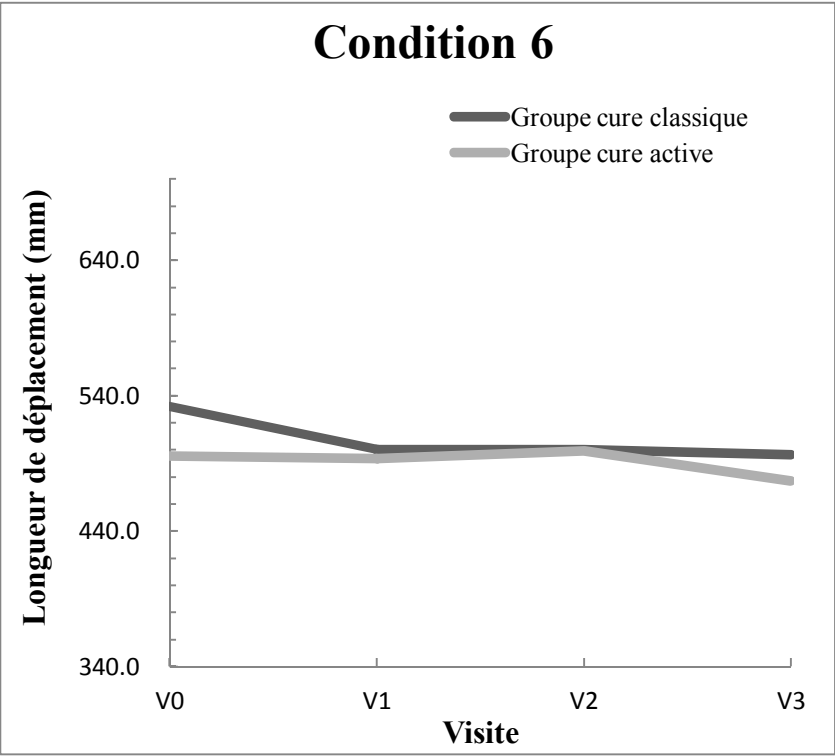
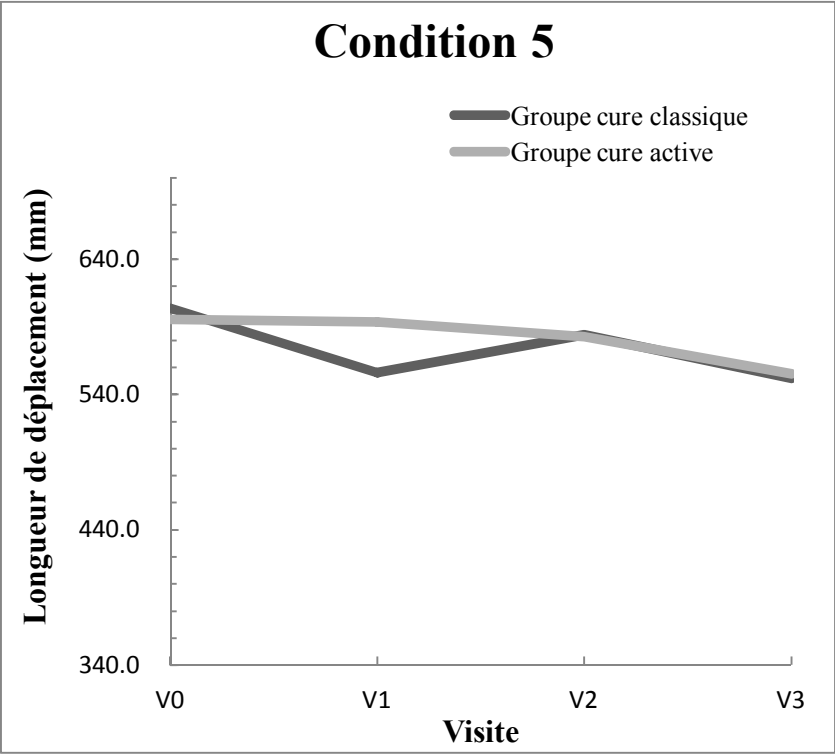


Figure 12. Variation dans toutes les conditions du test d'équilibre de la surface couverte par le centre de pression des pieds chez les patients au cours des quatre suivis. Ordonnées : valeurs moyennes des différentes conditions d'essai.







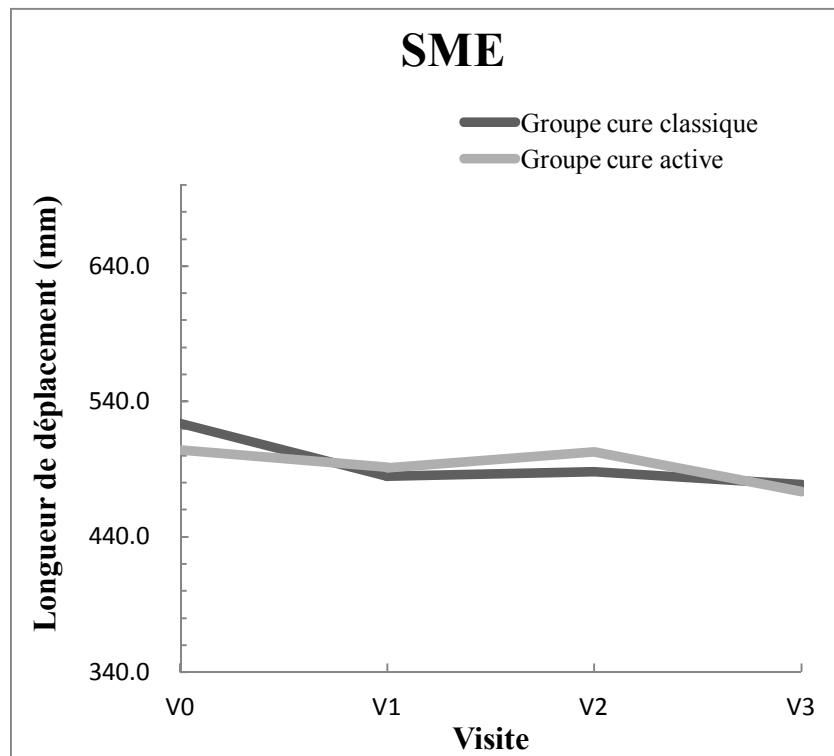


Figure 13. Variation, dans toutes les conditions de test d'équilibre, de la longueur parcourue par le centre de pression des pieds chez les patients au cours des quatre suivis. Ordonnées : valeurs moyennes des différentes conditions d'essai.

**V – PREMIERE ANALYSE :
CARACTERISTIQUES
CHRONOBIOLOGIQUES DU CONTROLE
POSTURAL DES PATIENTS SOUFFRANT
D'ARTHROSE DU GENOU**

V.1 – INTRODUCTION

Le genou étant l'articulation la plus fréquemment touchée du membre inférieur, les patients porteurs de gonarthrose souffrent de douleur, d'une perte progressive de la mobilité et montrent une dépendance croissante à la marche, à monter les escaliers et à réaliser d'autres tâches nécessitant les membres inférieurs [Guccione *et al.*, 1994]. Parmi les conséquences de la gonarthrose, les troubles de l'équilibre sont reconnus pour être une des conséquences les plus importantes [Hinman *et al.*, 2002]. De nombreuses études ont évalué la déficience du contrôle de l'équilibre chez les patients souffrant d'arthrose du genou à l'aide de posturographies en comparaison à des individus sains [Wegener *et al.*, 1997 ; Hinman *et al.*, 2002 ; Kim *et al.*, 2011]. Ils ont trouvé que les dommages articulaires chez les patients porteurs de gonarthrose peuvent réduire la force du quadriceps, diminuer la sensibilité proprioceptive du genou, et conduire finalement à une déficience de la stabilité posturale et à une réduction des capacités fonctionnelles du genou.

Bien qu'un déficit dans la performance du contrôle de l'équilibre chez les patients atteints d'arthrose du genou a été révélée, la variation diurne sur le contrôle de l'équilibre chez les patients atteints d'arthrose du genou n'a été rapporté que dans une étude récente [Sørensen *et al.*, 2014]. Cette recherche récente concernant l'impact de la période de la journée sur le contrôle postural chez les patients atteints d'une gonarthrose a démontré que la période de la journée semble affecter l'équilibre postural chez les patients atteints de gonarthrose. L'équilibre postural est altéré dans la matinée chez ces patients. D'autre part, Gauchard a confirmé une amélioration des fonctionnalités sensorielles et motrices du genou chez les patients porteurs d'une prothèse du genou permettant une évaluation de la performance posturale similaire à celle des personnes âgées en bonne santé en raison de la compensation proprioceptive [Gauchard *et al.*, 2010].

De plus, du point de vue des facteurs de risque, l'âge, le sexe, le poids jouent un rôle essentiel dans la pathogenèse de l'arthrose du genou. Les patients de différents âges, sexes ou poids pourraient avoir différentes des performances du contrôle de l'équilibre. De nos jours aucune recherche n'a rapporté l'effet des caractéristiques chronobiologiques sur le contrôle postural chez les patients souffrant de gonarthrose d'âge, de sexe, et de poids différents. A notre connaissance, cette étude est la première recherche qui concerne l'effet de la variation diurne sur le contrôle postural chez ces patients.

Dans ce contexte, l'objectif principal de la première analyse est d'étudier la variation diurne sur le contrôle de l'équilibre chez les patients, révéler les caractéristiques chronobiologiques de la stabilité posturale, et découvrir finalement les liens entre les symptômes cliniques de sorte à engendrer des stratégies applicatives pour prévenir la survenue d'événements indésirables dans la vie quotidienne du patient.

V.2 – METHODE

Pour étudier l'effet des caractéristiques chronobiologiques sur le contrôle postural chez les patients souffrants de gonarthrose, avant la cure thermique, nous avons séparé les patients selon les quatre groupes suivants : (a) un groupe en début de matinée évalué entre 8-10 h ; (b) un groupe en fin de matinée évalué entre 10-12 h ; (c) un groupe en début d'après-midi évalué entre 13-15 h ; (d) un groupe en fin d'après-midi évalué entre 15-17 h. L'évaluation consistait en un test posturographique.

Cependant, afin de préciser le rôle que jouent l'âge, le sexe, et le poids dans la variation diurne sur le contrôle postural, les patients de chaque groupe ont été divisés en deux cohortes en tenant compte de l'âge, du sexe et du poids.

La comparaison a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 19.0. Les données qualitatives ont été exprimées en nombre (n) et en pourcentage (%) et entre elles à l'aide du test χ^2 . Les données quantitatives ont été contrôlées pour la normalité de la distribution par le test de Kolmogorov-Smirnov avant l'analyse. Etant donné que la plupart des données acquies avant la cure (V0) suivaient des distributions non-normales, des tests non-paramétriques ont été utilisés dans toutes les analyses statistiques. Les données quantitatives ont ainsi été exprimées en valeurs médianes, associées au 1^{er} (Q1) et 3^{ème} (Q3) quartiles. Les 4 groupes ont été comparés à l'aide du test de Kruskal-Wallis, puis par un test post-hoc de Nemenyi pour les comparaisons 2 à 2. Afin de déterminer si des paramètres autres que ceux concernant l'équilibre pouvaient influencer la stabilité posturale chez les patients dans la journée, des analyses pas à pas ont été répétées en ajoutant les variables suivantes dans le modèle : âge, genre, et poids corporel.

Toutes les différences statistiques significatives ont été acceptées pour un niveau de probabilité de $p \leq 0.05$.

V.3 – DISCUSSION

Dans le texte précédent, nous avons introduit le fond et la méthode de la recherche. Ainsi dans cette partie, nous allons discuter les caractéristiques chronobiologiques de l'arthrose du genou, l'évaluation posturographique et la stabilité posturale chez les patients porteurs de gonarthrose, et enfin, les influences des caractéristiques démographiques sur le test d'équilibre. Nous espérons que des caractéristiques chronobiologiques de la stabilisation posturale chez les patients d'âge, sexe et poids différents pourraient être démontrées par les analyses suivantes.

V.3.1 – Caractéristiques chronobiologiques de l'arthrose du genou

La chronobiologie est l'étude des rythmes biologiques et la structure du temps biologique. La chronobiologie médicale, en particulier, concerne principalement le rythme circadien (24 h) et d'autres influences biopériodiques sur les maladies humaines telles que (1) leur apparition ou la variation de la gravité sur une échelle de 24 h ou autre, (2) la réponse des patients aux tests cliniques, (3) et l'effet des traitements médicaux [Smolensky & D'Alonzo, 1993].

Les notions de chronobiologie médicale sont discutées en détail ici. Les symptômes des maladies chroniques, telles que la rhinite allergique, l'angine de type régulière ou variante, l'arthrose, la polyarthrite rhumatoïde, l'asthme, l'épilepsie, l'hypertension et l'ulcère, présentent souvent, un cycle circadien, mensuel (chez les femmes), ou saisonnier [Labrecque & Vanier, 1995]. Les événements plus graves tels que l'infarctus du myocarde ou l'hémorragie cérébrale présentent également des modèles prévisibles sur 24 h ou sur l'année. En clinique, la biopériodicité influence fortement les résultats de l'évaluation de la pression artérielle, du test de l'antigène cutané et de l'évaluation au spiromètre. Les rythmes corporels affectent également la pharmacocinétique et la dynamique des médicaments. Un objectif majeur de la chronobiologie médicale est la chronothérapie, l'optimisation des pharmacothérapies, en tenant compte du rythme des dépendances dans la cinétique et la dynamique des médicaments ainsi que la variabilité prévisible du temps dans la manifestation et dans la gravité de la maladie humaine [Labrecque & Vanier, 1995].

Les symptômes cliniques plus étroitement associés à la chronobiologie sont la douleur et la raideur matinale. La douleur est habituellement la plainte première et prédominante chez les patients atteints d'arthrose symptomatique du genou. La douleur typique de l'arthrose apparaît dans la matinée et est soulagée avec des activités. Cependant, trop d'activités ou l'utilisation excessive du genou en revanche pourraient exacerber la douleur [Croft *et al.*, 2005]. En outre, la raideur matinale peut apparaître avec la douleur. Le patient a la sensation que le genou et la musculature péri-articulaire sont compressés et lents à répondre cette sensation dure généralement moins de 30 minutes. La raideur est localisée dans la région autour de l'articulation affectée et n'est pas caractéristique d'une raideur matinale diffusée de la polyarthrite rhumatoïde.

La chronobiologie de la douleur a été étudiée chez les patients arthritiques. Comme démonté par Labrecque [Labrecque & Vanier, 1995], les pics de douleur apparaissent principalement au début de la journée chez les patients atteints de polyarthrite rhumatoïde [Kowanko *et al.*, 1981] et à la fin de la journée chez les patients arthrosiques [Job-Deslandre *et al.*, 1983 ; Lévi *et al.*, 1985 ; Bellamy *et al.*, 1990]. Cependant, des différences importantes inter-individuelles de l'intensité de la douleur peuvent être démontrées au cours de 24 heures. Le tableau 37 montre que la plupart des patients arthrosiques se plaignent de douleur essentiellement en fin de journée. A l'inverse, d'autres ont déclaré que le pic de douleur a lieu en début de matinée et que pour certains aucun pic de douleur n'est relevé [Lévi *et al.*, 1985 ; Bellamy *et al.*, 1990]. Ces différences inter-individuelles doivent être prises en compte lors de la prescription d'analgésiques et de médicaments anti-arthritiques aux patients.

Tableau 37. Différences inter-individuelles dans le rythme circadien de la douleur de l'arthrose *.

Heures de jour	Lévi <i>et al.</i> , 1985	Bellamy <i>et al.</i> , 1990
8 h – 14 h	3	0
14 h – 20 h	19	8
20 h – 0 h	ND	5
0 h – 8 h	8	3
2 pics / 24 h	23	0
Non profil circadien	4	4
Nombre de patients	57	20

* Les données obtenues dans les deux études indiquent que la plupart des patients présentaient un pic unique de la douleur par période de 24 heures. Aucun profil circadien de la douleur arthritique a été constaté chez certains patients. ND : Non déterminé dans l'étude.

Par ailleurs, à l'exception du rhumatisme dégénératif à l'instant de l'arthrose, certains rhumatismes inflammatoires montrent également une variation circadienne des symptômes. Par exemple, la variation des symptômes de la polyarthrite rhumatoïde au cours de 24 h, telles que la douleur et la raideur matinales des articulations, l'incapacité fonctionnelle, et en raison des différences prévisibles au cours de 24 heures dans la concentration circulante de l'hormone anti-inflammatoire cortisol par rapport au rythme circadien des cytokines clés maladie-aggravante et pro-inflammatoires [Haus *et al.*, 2012]. Il est largement admis que la raideur et l'incapacité fonctionnelle sont évidentes dans les premières heures du matin sous le stress chronique de la maladie et la production nocturne de cortisol qui devient insuffisante pour inhiber l'activité nocturne immunitaire ou inflammatoire.

Dans cet esprit, nous supposons que la performance du contrôle postural qui varie entre le matin et l'après-midi chez nos patients pourrait avoir un lien avec la libération rythmique de l'hormone anti-inflammatoire endogène. Cela pourrait provoquer des symptômes cliniques et puis expliquer la faible performance du contrôle d'équilibre dans la matinée chez nos patients.

V.3.2 – Test d'équilibre

Dans le cadre de l'examen de l'équilibre statique des sujets, les oscillations du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés pendant 25.6 secondes. L'interface transformant les informations de pression en informations électriques permet de visualiser les positions et trajectoires successives du CPP au cours de l'enregistrement dans les plans médio-latéral et antéropostérieur et en fonction du temps.

Les trois capteurs sous la plate-forme Médicapteurs permettent de recueillir les paramètres de longueur parcourue par le CPP, et de surface couverte par ses oscillations. L'obtention de valeurs aux paramètres longueur et surface traduit la stabilité du sujet. Le paramètre longueur représente la dépense d'énergie mise en jeu par le sujet pour réguler son équilibre, et le paramètre surface représente la précision du contrôle postural [Toupet & Gagey, 1991 ; Perrin *et al.*, 1996].

Les six conditions réalisées dans le test évaluent les capacités du sujet à utiliser séparément les entrées visuelles, vestibulaires et somatosensorielles et à supprimer une information sensorielle inappropriée. Parmi eux, les conditions yeux ouverts puis yeux fermés permettent de quantifier le poids de l'afférence visuelle dans le contrôle de l'équilibre statique. Afin de fournir une information inadéquate, les entrées visuelles et somatosensorielles sont faussées par une paire de lunettes virtuelle 3D et une mousse sous les pieds du sujet. Une cible représentant un point noir est projeté dans les lunettes. Si le sujet bouge la tête, le point peut bouger avec lui, si la tête reste stable, le point ne bouge pas. Cette technique permet de fausser la vision. La mousse sous les pieds du sujet fournit un support instable. Afin de maintenir l'équilibre du corps, le sujet doit contrôler les oscillations antéropostérieures ou médio-latérales du centre de gravité (CG) [Nashner & Peters, 1990].

Le tableau 38 présente les six conditions réalisées dans le test posturographique. Le participant doit se maintenir debout pendant 25.6 secondes pour chaque condition en oscillant le moins possible. Dans les deux premières conditions, le support est fixe et les yeux du sujet sont ouverts (condition 1) ou fermés (condition 2). En condition 3, la surface du support reste fixe tandis que le sujet évolue les yeux ouverts dans un environnement visuel asservi. Cela signifie que le sujet doit essayer de supprimer l'interférence provoquée par d'une vision faussée afin de maintenir une stabilité corporelle. En conditions 4, 5 et 6, les informations somatosensorielles sont systématiquement faussées par un support mousse et le sujet évolue en condition yeux ouverts (condition 4), yeux fermés (condition 5) ou en vision asservie (condition 6). Ces trois dernières conditions sont plus difficiles que les trois précédentes. Elles demandent au sujet de surmonter l'instabilité provoquée par le support en mousse avec l'absence de vision ou une vision faussée et en même temps de maintenir l'équilibre du corps.

Si le patient peut obtenir, dans les six conditions mentionnées au dessus, une valeur de longueur ou surface d'oscillation relativement basse, cela signifie qu'il possède une capacité à utiliser convenablement ses afférences visuelles, vestibulaires et somatosensorielles et à supprimer les informations sensorielles inappropriées afin de maintenir une stabilité du corps.

Tableau 38. Test d'équilibre statique. Spécificités des six conditions et conséquences sensorielles. EV, environnement visuel.

Test d'équilibre statique		
Conditions		
<i>Nom</i>	<i>Situation</i>	<i>Conséquences sensorielles</i>
Condition 1 (C1)	Yeux ouverts, support fixe	----
Condition 2 (C2)	Yeux fermés, support fixe	Vision absente
Condition 3 (C3)	EV asservi, support fixe	Vision faussée
Condition 4 (C4)	Yeux ouverts, support perturbé	Proprioception faussée
Condition 5 (C5)	Yeux fermés, support perturbé	Vision absente, proprioception faussée
Condition 6 (C6)	EV asservi, support perturbé	Vision et proprioception faussées

V.3.3 – Influences des caractéristiques démographiques sur contrôle postural

Nous avons discuté ci-dessus des caractéristiques chronobiologiques de l'arthrose du genou et des différentes situations du test d'équilibre. Le contrôle postural réalisé chez les patients montre qu'il existe des variations diurnes sur le contrôle postural. Ces variations ont-elles des liens avec la caractéristique clinique de la gonarthrose? Les caractéristiques démographiques, telles que l'âge, le sexe, et le poids, peuvent-elles influencer les performances de stabilisation corporelle dans le test ? Dans cette partie, nous allons les discuter en détail.

V.3.3.1 – Influence globale

Les résultats de cette étude ont montré une variation diurne du contrôle de l'équilibre chez les patients porteurs d'arthrose du genou au cours des différentes périodes de la journée. Des performances faibles du contrôle postural étaient présentes en fin de matinée à la fois dans la condition simple (les yeux ouverts, le support stable) et la condition conflictuelle (yeux fermés, support perturbé). Ces variations dépendent principalement de l'âge, du sexe, du poids, et de la condition physique du patient. Un homme de plus de 65 ans souffrant de gonarthrose a une tendance significative à présenter une variation diurne du contrôle postural. Bien que les déficiences du contrôle de l'équilibre chez les patients porteurs de gonarthrose symptomatique ont été présentées dans des études précédentes [Wegener *et al.*, 1997 ; Hassan *et al.*, 2001 ; Hinman *et al.*, 2002 ; Kiss, 2012], aucune d'entre elles n'a analysé les variations diurnes de la stabilité posturale chez les sujets. À notre connaissance, notre étude est la première recherche à évaluer la variation diurne

(8.00 a.m.-5.00 p.m.) sur le contrôle de l'équilibre chez les patients porteurs de gonarthrose dans les conditions sensorielles simples et conflictuelles.

Nos résultats sont similaires à ceux de l'étude précédente qui montrait une altération du contrôle postural chez les patients gonarthrosiques dans la matinée [Sørensen *et al.*, 2014]. Cependant, notre étude comporte plusieurs sujets, des conditions d'essai plus complexes, une durée des tests sur l'ensemble de la journée. Les résultats identiques confirment que la période de la journée a un impact sur la stabilité posturale chez les patients atteints d'une gonarthrose.

Une corrélation entre les douleurs articulaires et l'oscillation posturale observée dans notre étude montre que la douleur joue un rôle important dans la variation diurne sur la stabilité posturale chez les patients. La douleur a une influence importante sur le contrôle postural chez les patients arthrosiques [Hassan *et al.*, 2001]. La présence de douleur peut inhiber le réflexe des muscles autour du genou, ce qui pourrait compromettre des réponses motrices rapides et efficaces et donc une altération du contrôle postural [Arvidsson *et al.*, 1986]. En plus de la gonalgie, nous présumons que la raideur matinale peut aussi avoir un impact sur la variation diurne de la stabilité posturale qui nécessite d'autres investigations dans des études futures.

Par ailleurs, oscillations posturales dans le plan médio-latéral révèlent une répartition équitable du poids corporel sur les deux pieds chez les quatre groupes de patients atteints d'arthrose unilatérale. Même s'ils ressentent une douleur au genou qui fluctue au cours de la journée, la répartition du poids du corps sur les deux pieds ne change pas dans les 4 périodes. La répartition du poids du corps sur les deux membres inférieurs ne semble donc pas être liée à la douleur.

Néanmoins, une recherche précédente a montré l'influence des périodes de la journée sur le contrôle postural statique et dynamique chez trente jeunes étudiants en bonne santé [Gribble *et al.*, 2007]. L'auteur de cette étude a constaté que l'influence du temps dans la journée sur le contrôle postural statique était moins important que sur le test dynamique. De plus, les tests ont été effectués sur deux jours consécutifs. Une variation à long terme n'a pas été observée. La performance au cours du test dynamique présentait de meilleurs résultats la matinée que l'après-midi ou le soir. Les jeunes adultes qui ne subissent pas encore l'effet vieillissement et notamment les troubles articulaires ont tout de même un contrôle postural qui varie aux différentes périodes de la journée. Ce qui est à clarifier est la variation diurne de la stabilité posturale chez les personnes âgées avec ou sans pathologie articulaire.

Une étude récente a révélé que le rythme circadien avait un effet sur le contrôle de l'équilibre chez trente-quatre personnes âgées en bonne santé dont l'âge et le sexe étaient semblables à nos sujets [Jorgensen *et al.*, 2012]. Contrairement à nos résultats, le contrôle postural optimal chez des sujets sains semble être à midi, plutôt que dans l'après-midi. Des explications possibles pour cette différence du contrôle d'équilibre entre les patients atteints d'arthrose du genou et les sujets sains pourrait être la douleur et la raideur matinale du genou avec une limitation de la mobilité articulaire qui varie avec les activités quotidiennes. Ces symptômes cliniques peuvent également expliquer les différences du contrôle de l'équilibre entre les patients soumis aux essais dans la matinée et ceux passant les tests l'après-midi. La douleur et la raideur matinale liées à l'arthrose du genou pourraient entraîner une faible performance du contrôle d'équilibre.

En plus des effets des symptômes cliniques sur le contrôle postural, le déficit proprioceptif du genou chez les patients souffrant de gonarthrose a récemment été révélé dans des études [Hurley *et al.*, 1997 ; Gauchard *et al.*, 2010]. Il a été confirmé que ce déficit avait une influence sur la régulation posturale [Gauchard *et al.*, 2010]. Le rôle de la proprioception sur le contrôle postural, la déficience et la compensation proprioceptive, seront discutés en détail dans les sections suivantes.

V.3.3.2 – Influence de l'âge

Une variation statistiquement significative de la surface d'oscillation a été observée dans certaines conditions du test chez les patients plus âgés dans notre étude. Les patients plus âgés présentent une plus petite surface couverte par le CPP en fin d'après-midi que les patients ayant le même âge en fin de matinée dans la situation simple. Ils ont aussi des plus petites surfaces parcourues en début d'après-midi que ceux mesurées en début et en fin de matinée lorsque la vision est absente avec une proprioception faussée. En début de matinée, les patients de moins de 65 ans ont des surfaces plus petites que ceux de plus de 65 ans dans les conditions conflictuelles du test d'équilibre.

Selon les résultats ci-dessus, nous trouvons que l'âge joue un rôle important à la fois dans l'évolution de la gonarthrose mais aussi sur l'instabilité posturale. Environ 1 personne sur 3 âgée de plus de 65 ans souffrent d'un trouble de l'équilibre et tombent chaque année [Lord *et al.*, 2007], d'autant plus que l'arthrite semble être un facteur de risque de chute [Tinetti *et al.*, 1988]. Bien que le risque de tomber chez les personnes âgées varie au cours de la journée, avec un pic en début de matinée [Hill *et al.*, 2010],

Doheny et ses collègues constatent que l'association de l'amplitude spatio-temporelle et les antécédents de chute ne varient pas significativement au cours de la période d'enregistrement, et la précision des évaluations pour évaluer le risque de chute ne semble pas être dépendante du temps [Doheny *et al.*, 2012].

En effet, la proprioception est l'afférence sensorielle, à partir de la surface plantaire des pieds jusqu'à la partie supérieure du corps, la plus importants pour maintenir l'équilibre en condition normale [Lord *et al.*, 1991]. En position debout normale (vision disponible, support stable), les afférences neurosensorielles sont redondantes et complémentaires avec une contribution plus élevée des afférences proprioceptives et visuelles par rapport aux afférences vestibulaires [Fitzpatrick *et al.*, 1994]. Cependant, l'évolution de l'arthrose, de la douleur chronique et du déficit proprioceptif, pourrait entraîner une influence négative sur le contrôle de l'équilibre. En outre, une performance faible du contrôle postural évolue avec l'âge en raison à la fois de la perte de résistance musculaire au niveau de la cheville et d'une diminution de la sensibilité tactile, du sens de la position articulaire, et de la proprioception [Skinner *et al.*, 1984; Whipple *et al.*, 1987]. Dans les situations les plus difficiles, où un minimum d'informations sensorielles sont disponibles ou valides, l'altération de la fonction du genou chez les patients âgés évalués en début de matinée est davantage montrée par rapport aux patients plus jeunes, entraînant une faible utilisation des stratégies appropriées pour ajuster la stabilisation du corps. Par conséquent, nous pouvons déduire que les patients plus âgés peuvent avoir une intégration sensori-motrice altérée et une faible capacité à compenser le contrôle de l'équilibre que les patients plus jeunes lorsque la vision et la sensibilité proprioceptive sont perturbées.

Lors du vieillissement, les sujets ont de plus en plus de difficultés à maintenir leur équilibre au cours des tâches quotidiennes, en raison d'une modification de l'attitude posturale chez les personnes âgées, qui n'est pas sans rappeler l'attitude en flexion du parkinsonien [Woodhull-McNeal, 1992] : légère flexion du rachis cervical, attitude penchée en avant du tronc avec déviation postérieure des hanches, membres supérieurs en légère flexion le long du corps. Cette posture entraîne une projection du centre de gravité vers l'avant, mais elle modifie également l'obliquité des canaux semi-circulaires ainsi que l'orientation des propriocepteurs oculaires et cervicaux [Strubel, 1996]. Pourtant cette attitude posturale caractéristique ne semble pas corrélée à l'existence de chutes [Woodhull-McNeal, 1992].

La sénescence touche également le système postural. Le vieillissement s'accompagne donc de troubles de l'équilibre en raison de sensations d'instabilité aux

changements de position et la conséquence ultime de cette dysfonction, la chute, va réduire sinon supprimer l'activité motrice du sujet âgé [Vincent, 1993]. Le vieillissement peut donc être défini comme la somme totale de tous les changements qui se produisent au cours du temps dans un organisme vivant et qui conduisent à la détérioration fonctionnelle et à la mort [Timiras, 1980].

Le système postural est sollicité dans trois types de circonstances : au cours du maintien de l'attitude, à la suite d'une perturbation extérieure imprévue et au cours de mouvements volontaires comme la marche [Strubel & Jacquot, 1993]. Habituellement, ce sont ces deux dernières circonstances qui sont incriminées lors des chutes chez les sujets âgés.

La sénescence s'accompagne du vieillissement des capteurs sensoriels, des systèmes intégrateurs centraux et des effecteurs, associés ou non à des facteurs psychologiques et une prescription médicamenteuse plus importante :

- Au niveau des capteurs, leur perturbation ainsi qu'une modification de leur hiérarchie peuvent entraîner une baisse d'efficacité de la régulation posturale [Forssberg & Nashner, 1982 ; Straube *et al.*, 1988].

- Au niveau des afférences visuelles, un vieillissement du cristallin et de la rétine entraîne une perte progressive de la transmission de la lumière à travers les milieux oculaires [Woollacott, 1993] et une perte de la perception du mouvement [Spooner *et al.*, 1980]. Les personnes âgées montrent une baisse significative de la sensibilité au contraste [Pitts, 1982] ainsi qu'une diminution de la capacité d'accommodation [Carter, 1982]. La perte de la sensibilité au contraste paraît avoir un rôle plus important que la baisse de l'acuité visuelle [Lafont *et al.*, 1991]. Pourtant, malgré ce déficit visuel, il apparaît que les sujets âgés utilisent de plus en plus leur afférence visuelle par rapport aux autres afférences pour maintenir leur équilibre [Paulus *et al.*, 1984 ; Lafont *et al.*, 1991]. L'entrée visuelle étant faussée, les sujets âgés ont donc plus de difficultés que les sujets jeunes pour réguler leur équilibre [Nashner & Berthoz, 1978].

- Au niveau des afférences vestibulaires, le vestibule se détériore avec l'avancée en âge [Johnsson & Hawkins, 1972]. Une baisse de la réflectivité labyrinthique est constatée [Perrin & Lestienne, 1994] en relation avec la dégénérescence des cellules sensorielles ciliées vestibulaires, des cellules du ganglion de Scarpa et des fibres nerveuses acoustiques [Rosenhall, 1975]. De plus, il semble que certains sujets n'utilisent plus leurs afférences vestibulaires, on parle alors d'omission vestibulaire [Freyss, 1990]. Dans ce cas, les examens caloriques et rotatoires demeurent normaux [Diard *et al.*, 1993].

- Au niveau des afférences proprioceptives, une détérioration progressive de la proprioception s'installe avec l'âge [Brocklehurst *et al.*, 1982 ; Skinner *et al.*, 1984], avec une baisse de la sensibilité vibratoire et kinesthésique au niveau des membres inférieurs [Schiano *et al.*, 1998].

- Au niveau des afférences extéroceptives, une diminution de la sensibilité profonde résulte de l'avancée en âge [Perrin & Lestienne, 1994] en raison d'une diminution du nombre et du changement de morphologie des récepteurs [Rosenhall, 1975 ; Kenshalo, 1986 ; Strubel & Martin-Hunyadi, 1991].

L'altération de ces deux dernières afférences est responsable d'une augmentation des oscillations, les entrées visuelles et vestibulaires apparaissant secondairement [Lord *et al.*, 1991].

V.3.3.3 – Influence du sexe

Des hétérogénéités significatives de la surface couverte sont observées chez les hommes dans notre étude. Ils présentent des variations marquées dans la journée dans les différentes conditions de test, alors qu'aucune différence est observée chez les femmes. L'analyse post-hoc montre que les patients masculins ont une plus petite surface couverte au début de l'après-midi que ceux testés en début et fin de matinée à la fois lorsque la vision est absente ou faussée et que la proprioception est perturbée. Il n'y a qu'une différence significative entre les patients masculins et féminins dans la même session de test. Les femmes ont une plus petite surface d'oscillation que les hommes en début de matinée.

Dans une étude longitudinale, il a été constaté que les femmes ont un plus grand risque d'avoir de l'arthrose que les hommes. Cette constatation serait liée à l'âge, à l'IMC, au tabagisme, aux blessures, à la chondrocalcinose, à l'arthrose de la main, et aux activités physiques [Felson *et al.*, 1997]. D'autres études montrent également que l'arthrose du genou est plus fréquente chez les femmes [Anderson & Felson, 1988 ; Davis *et al.*, 1989 ; Van Saase *et al.*, 1989]. L'arthrose bilatérale est deux fois plus fréquente chez les femmes que chez les hommes [Davis *et al.*, 1989], mais aucune différence entre les sexes n'est observée dans la prévalence de l'arthrose unilatérale. Anderson *et al.* constatent que, parmi les personnes âgées de 35 à 74 ans, la prévalence de l'arthrose du genou augmente avec l'âge chez les deux sexes ; chez les personnes âgées de 45 à 54 ans, elle est plus marquée chez les femmes que chez les hommes [Anderson & Felson, 1988].

Dans l'enquête de Zoetermeer, l'arthrose sévère est beaucoup plus répandue chez les femmes [Van Saase *et al.*, 1989].

Le sexe peut influencer l'arthrose du genou par des voies multiples, y compris les influences hormonales sur le métabolisme du cartilage, la variation entre les sexes dans les risques de blessures, et les différences entre les sexes dans l'environnement mécanique du genou [Sharma *et al.*, 1999]. C'est à cette période de la vie qu'intervient un phénomène de grande importance : la ménopause chez la femme. Ce qui nous amène à envisager le rôle protecteur ou non des hormones mâles et femelles, sur lesquelles nous reviendrons. Jusqu'à l'âge de 45 ans, l'arthrose est rare et un peu plus fréquente chez l'homme. Entre 45 et 55 ans, les deux sexes sont quasiment atteints à part égale. Au-delà de 55 ans, l'arthrose devient nettement plus fréquente et sévère chez les femmes (Figure 14). Chez les sujets âgés de 55 à 64 ans, l'épidémiologiste anglais Lawrence a montré que parmi les sujets qui souffrent d'une arthrose de quatre articulations et plus, on trouve 47% de femmes et seulement 25% d'hommes [Lawrence *et al.*, 1966]. L'influence des hormones sexuelles, en particulier les oestrogènes, est encore débattue. Certains pensent qu'ils protègent la femme de l'arthrose et que le traitement substitutif de la ménopause l'est aussi. D'autres pensent que ces hormones pourraient, au contraire, l'aggraver. En effet, à l'inverse de ce qui se passe dans l'ostéoporose, l'os sous-chondral est plus dense dans l'arthrose [Dequeker *et al.*, 1997]. Les femmes arthrosiques ont moins de fractures du col fémoral. Etant donné que l'arthrose est caractérisée par l'augmentation de la densité de l'os est née l'idée qu'elle rend celui-ci plus rigide et diminue sa capacité à absorber les forces de contrainte qu'elle reçoit. Dans ce cas, il n'est pas favorable au contrôle de l'équilibre lors de la marche ou pour maintenir une attitude debout. Il s'ensuit une disposition plus grande à l'arthrose et donc un cercle vicieux d'aggravation de la maladie.

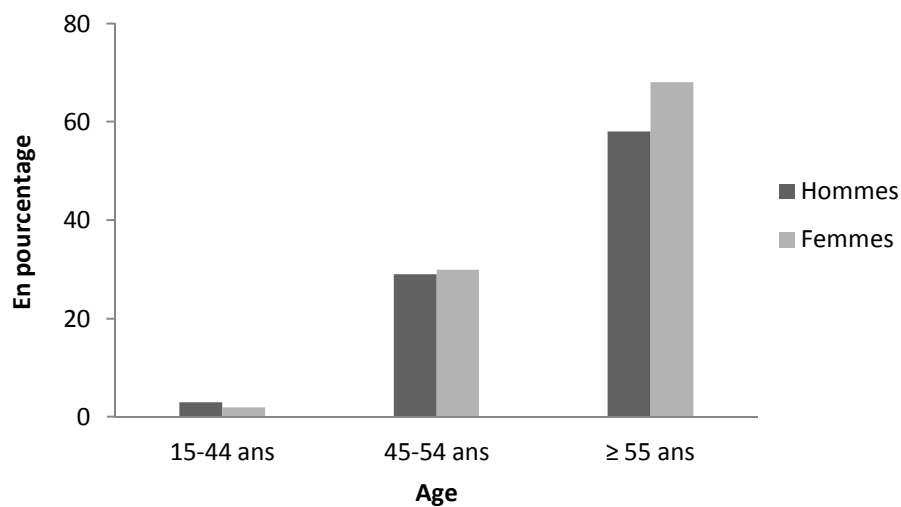
Mais cela ne signifie pas que les femmes ont une capacité plus faible que les hommes à contrôler leur équilibre. Nos résultats suggèrent que l'impact de l'arthrose sur le contrôle postural est plus marqué chez les hommes. Les patients masculins dans cette étude ont démontré une plus grande variation du contrôle de l'équilibre que les femmes, avec une performance plus faible dans la matinée. Même si les femmes représentaient la majorité des sujets, elles n'ont pas montré de variation marquée du contrôle de l'équilibre en comparaison aux hommes.

Du point de vue de l'imagerie, l'os arthrosique est aussi plus dense à la radiographie. Sa densité mesurée par des appareils spéciaux, les ostéodensitomètres, est augmentée.

Dans une étude transversale portant sur un échantillon de commodité, dans lequel 15 % des hommes et 19 % des femmes ont une arthrose radiographique, les hommes ont un plus grand volume de cartilage tibial et rotulien que les femmes. Les différences sont réduites (même si certaines différences persistent) après ajustement des différences entre les sexes, la taille du sujet, le poids et la taille de l'os [Ding *et al.*, 2003]. Dans une autre étude chez des jeunes avec les genoux sains, Faber *et al.* ont révélé que la différence entre les sexes sur le volume du cartilage est principalement provoqué par la différence de la dimension de surface articulaire mais pas par la différence de l'épaisseur du cartilage [Faber *et al.*, 2001]. De plus, les activités physiques font que les hommes ont des muscles squelettiques plus robustes et une récupération plus rapide après la fatigue ou une blessure. Ces avantages sont également accompagnés d'inconvénients. Le poids corporel plus élevé chez les hommes entraîne une usure plus importante des cartilages articulaires du genou et les activités physiques plus intenses mènent à une fatigue physique et mentale qui est également défavorable à la stabilisation du corps. Deschamps *et al.* démontrent que l'exercice et la tâche exigeant hautement l'attention pourraient provoquer des variations du contrôle postural [Deschamps *et al.*, 2013]. Bien que les sujets dans leur recherche étaient étudiants de sexe masculin, nous pouvons conclure qu'un contrôle satisfaisant de l'équilibre nécessite de bonnes conditions physiques et mentales.

En bref, le sexe peut influencer le contrôle postural chez les patients porteurs de gonarthrose par des voies multiples, y compris les hormones, la densité de l'os, la sénescence, la structure de cartilage, les activités physiques, même le stress mental...Ceux-ci pourraient provoquer une variation de la stabilité postural chez les hommes dans la journée, selon les résultats de nos études. Cependant, le contrôle de l'équilibre chez les femmes semble plus stable dans la journée par rapport aux hommes.

Figure 14. Fréquence de l'arthrose en fonction de l'âge et du sexe.



V.3.3.4 – Influence du Poids

Selon les résultats statistiques, une hétérogénéité importante de la surface d'oscillation a été constatée chez les patients ayant des poids corporels différents dans les différentes conditions du test. Les sujets plus lourds ont une variation marquée de la stabilité posturale dans la journée, avec une meilleure performance l'après-midi que le matin. Le contrôle postural des sujets plus légers est néanmoins plus stable dans la journée, et aucune différence n'est observée chez eux. Par ailleurs, la comparaison entre les sujets de poids différent a montré que les sujets plus légers ont une meilleure performance en fin de matinée et début d'après-midi que ceux étant plus lourds dans certaines conditions de test.

L'influence du poids sur l'arthrose du genou est souvent remarquée chez les patients en surpoids ou obèse. Chez les participants Framingham (âge médian 37 ans), le poids prédit la présence de l'arthrose du genou 36 ans plus tard [Felson *et al.*, 1988]. Il a été montré que le changement de poids chez les femmes Framingham entraînait le risque de développer de l'arthrose du genou [Felson *et al.*, 1992]. Une diminution de l'IMC de 2 unités en 10 ans diminue la prévalence de l'arthrose du genou. Une étude de Framingham ultérieure chez les sujets en bonne santé (âge moyen 70.5 ans) a montré que l'IMC élevé augmente le risque d'arthrose, et le changement de poids est directement liée au risque de

l'arthrose [Felson *et al.*, 1997]. Ces résultats présentés chez les femmes, sont présents chez les hommes et peuvent refléter une différence entre les sexes ou le petit nombre d'incidents chez les hommes. Dans une étude longitudinale de la population Chingford (femmes, âge moyen 54 ans), ayant un IMC élevé, le risque de développer l'arthrose du genou, était important et était lié à la thérapie du remplacement d'oestrogènes, l'activité physique, la douleur au genou, et la classe sociale [Hart *et al.*, 1999]. Dans les participants Chingford atteints d'arthrose du genou unilatérale, 46 % ayant un IMC élevé, ont développé une arthrose du genou non-impliqué deux ans plus tard par rapport à 10 % avec un IMC plus bas [Spector *et al.*, 1994].

L'obésité est plus fortement associée à l'arthrose bilatérale que unilatérale, s'ajustant à la blessure, l'âge et le sexe chez les participants âgés de 45 à 74 ans [Davis *et al.*, 1989]. Dans les études scientifiques, il a été constaté que la relation la plus forte était celle entre l'obésité et l'arthrose du genou [Hochberg, 1991]. Cette relation est observée même en l'absence de symptômes. L'obésité est aussi un facteur de risque qui permet de prédire la survenue d'une arthrose bilatérale du genou, comme l'a montré l'étude menée par les Anglais dans la ville de Framingham. Ils parlent alors de « risque relatif (RR) », c'est-à-dire du « nombre de chance » que la population a d'avoir la maladie si elle est obèse. Dans ce cas précis le RR est de 9 pour les femmes et de 4.5 pour les hommes, soit deux fois moins. Plus précisément, cela veut dire que les femmes obèses ont 9 fois plus de « chance » d'avoir une arthrose du genou que les femmes de même génération, mais qui ont un poids normal.

Il y a peu de preuves d'un lien métabolique entre le poids corporel et l'arthrose du genou. Il est possible que, les symptômes de l'arthrose du genou engendrent une réduction de l'activité physique qui contribuerait à une grande prévalence à l'obésité. Cependant, l'analyse des données de la NHANES n'a révélé aucune preuve que l'association entre le poids corporel et l'arthrose du genou est plus forte chez les personnes ayant des symptômes du genou. Chez les femmes de Framingham, l'association entre le poids et l'arthrose du genou était plus forte chez ceux sans symptômes. Chez l'homme, l'association semble être plus marquée chez ceux ayant une maladie symptomatique [Felson *et al.*, 1988].

L'analyse ci-dessus a pleinement reflété le lien entre l'arthrose et le poids corporel. Les patients plus légers ont un meilleur contrôle postural que ceux étant plus lourds. Par conséquent, selon nos résultats, nous estimons que le surpoids ou l'obésité est également un facteur influençant le contrôle postural par deux mécanismes. Premièrement, l'excès

de poids écrase les cartilages articulaires et détruit les afférences proprioceptives du genou. Deuxièmement, le surpoids entraîne un étrécissement de lacune articulaire et un genou plus rigide qui influencent la régulation posturale. De plus, la stabilité posturale des patients plus légers n'a pas été observée en variation diurne, par rapport à ceux étant plus lourds, qui ont un contrôle de l'équilibre instable dans la journée. Cette manifestation concorde avec les symptômes cliniques de l'arthrose, telles que la douleur et la raideur matinale, qui provoquent un mauvais contrôle de l'équilibre dans la matinée. En conclusion, une perte de poids pourrait non seulement soulager la souffrance entraînée par l'arthrose, mais aussi être favorable à une restauration de la stabilité posturale.

VI – DEUXIEME ANALYSE :
COMPARAISON DES DEUX
PROGRAMMES D’HYDROTHERAPIE
DIFFERENTS POUR AMELIORER LE
CONTROLE DE L’EQUILIBRE CHEZ LES
PATIENTS SOUFFRANT D’ARTHROSE
DU GENOU

VI.1 – INTRODUCTION

La balnéothérapie est utilisée depuis de longues dates et ses effets bénéfiques dans le traitement de nombreuses affections rhumatologiques sont de moins en moins contestés [Suomi & Collier, 2003 ; Tishler *et al.*, 2004]. Par exemple, une augmentation de la performance motrice et de la souplesse articulaire sont observées chez les sujets âgés souffrant d'arthrose [Tishler *et al.*, 2004]. L'hydrothérapie semble par ailleurs induire une diminution de la douleur et une augmentation de la capacité à marcher chez les sujets souffrant de rhumatismes [Tishler *et al.*, 2004].

Bien que largement utilisée dans les programmes de rééducation pour sa capacité à mobiliser, l'impact de l'hydrothérapie sur l'activité neuromusculaire a été peu étudié. Cependant, Pöyhönen *et al.* [Pöyhönen *et al.*, 2001], dans une étude électromyographique et cinématique lors d'exercices de mobilisation du genou dans l'eau, ont mis en évidence des modifications des fonctions neuromusculaires des muscles quadriceps et biceps femoris. Par ailleurs, Suomi *et al.* [Suomi & Kocejka, 2000] ont mis en évidence une réduction des oscillations posturales plus spécifiquement selon l'axe médiolatéral après six semaines d'hydrothérapie chez des sujets âgés arthrosiques.

La prise en charge en rééducation de patients atteints au niveau du membre inférieur respecte généralement une chronologie [Berger *et al.*, 2006]:

- Une lutte contre les troubles trophiques et algiques ;
- Une récupération articulaire ;
- Une récupération musculaire ;
- Une récupération proprioceptive et fonctionnelle.

La rééducation proprioceptive est abordée en fonction de l'état du patient lorsque les troubles algiques et inflammatoires régressent, lorsque la consolidation osseuse est acquise, lorsque la stabilité articulaire, la mobilité articulaire et la force musculaire sont suffisantes. Cette rééducation proprioceptive apparaît tardivement au moment où les patients pouvant marcher, se réapproprient une autonomie fonctionnelle. Ce retour à un appui bipodal peut être caractérisé par la mesure du centre de pression des pieds, reflet de la stabilité posturale.

A notre connaissance, il ne semble pas que les effets de deux programmes différents de balnéothérapie sur la stabilité posturale aient été évalués. De même, l'hydrothérapie classique indiquée dans notre étude ne semble pas avoir comparé les améliorations de la stabilité posturale chez les patients. Bien que des améliorations cliniques satisfaisantes

aient été démontrées, la stabilité posturale qui reflète la performance neuromusculaire chez les patients souffrant de gonarthrose est encore inconnue.

Dans cette partie, l'objectif principal de la deuxième analyse est d'étudier les résultats obtenus chez les patients au cours de quatre suivis, avant et après les cures thermales, et de comparer l'amélioration de la capacité à mobiliser l'articulation et la performance neuromusculaire chez les patients au cours de deux programmes de rééducation hydrothérapique différents, et à développer une alternative aux traitements non-médicamenteux.

VI.2 – METHODE

Afin de comparer les effets thérapeutiques de deux programmes différents de cure thermique sur le contrôle de l'équilibre, et les améliorations de la stabilité posturale au cours de la rééducation chez les patients dans les deux groupes, des suivis ont été réalisés avant la cure, 3 semaines, 6 semaines, et 3 mois après le début de la cure thermique. Lors de chaque visite, les patients sont soumis à un même test posturographique.

Au cours des différents suivis les mêmes tests étaient réalisés. Les paramètres mesurés dans les suivis longitudinaux sont des variables continues. Ont été réalisés une ANOVA de modèle mixte pour les données répétées, un test de sphéricité de Mauchly, (comparaison V0-V1-V2-V3) avec une analyse de facteur de traitement et de l'interaction, ainsi qu'une comparaison entre les deux groupes à chaque suivi à l'aide du logiciel SPSS 19.0.

Toutes les différences statistiques significatives ont été acceptées pour un niveau de probabilité de $p \leq 0.05$.

VI.3 – DISCUSSION

Nous avons discuté dans la première analyse les caractéristiques chronobiologiques de la stabilité posturale chez les patients porteurs de gonarthrose. Dans cette partie, nous allons discuter les avantages de l'hydrothérapie pour le traitement de la gonarthrose, les différences sur le contrôle de l'équilibre entre les deux programmes de rééducation thermique, la variation de la performance neuromusculaire dans chaque groupe au cours des suivis, et la restauration de la proprioception suite à la cure thermique.

VI.3.1 – Hydrothérapie appliquée à la gonarthrose

L'hydrothérapie est un terme englobant une gamme d'activités thérapeutiques et d'exercices effectués en piscine chauffée. Les experts évaluent l'hydrothérapie comme l'un des traitements les moins dangereux parmi les 33 traitements potentiels pour l'arthrose du genou [Jordan *et al.*, 2003]. Le milieu aquatique est bénéfique pour la population présentant des troubles musculo-squelettiques qui peuvent représenter un obstacle à l'exercice terrestre. La thérapie physique aquatique intègre l'évaluation individuelle, pratique fondée sur des preuves, et des compétences de raisonnement clinique pour mettre au point des plans de traitement sur la base des principes hydrostatiques et hydrodynamiques et les effets physiologiques de l'immersion [Larson *et al.*, 2002].

Seulement quelques études ont évalué les interventions hydrothérapeutiques sur un échantillon présentant une arthrose de la hanche ou du genou [Sylvester, 1989 ; Green *et al.*, 1993]. Cependant, l'essai contrôlé randomisé le plus rigoureusement conçu publié à ce jour a trouvé aucun changement significatif dans les scores de WOMAC (la douleur, la raideur, la fonction) avec l'hydrothérapie par rapport à un programme de renforcement à base de gymnastique ou sans intervention particulière chez 105 participants souffrant d'arthrose du genou ou de la hanche [Foley *et al.*, 2003]. Néanmoins, l'hydrothérapie entraîne une amélioration de la distance de marche parcourue et de la force musculaire du quadriceps par rapport à l'absence d'intervention [Hinman *et al.*, 2007].

La thérapie physique aquatique offre plusieurs avantages par rapport aux traitements physiques à base de terre pour les personnes souffrant d'arthrose. La flottabilité de l'eau diminue la charge articulaire en réduisant l'effet de la gravité, ce qui permet à la personne atteinte d'arthrose de se déplacer avec moins d'effort, ce qui serait impossible sur terre sans une aide [Galloway & Jokl, 1993]. Il réduit le stress sur les articulations et les muscles, permet une plus grande amplitude du mouvement, aide à supporter le poids corporel, permet une augmentation de la résistance et augmente l'efficacité musculaire à eau tempérée [Skelton & Dinan, 1999]. La turbulence de l'eau peut être utilisée comme un procédé d'augmentation de la résistance, et le poids corporel apparent peut être diminué ou augmenté en fonction de la profondeur d'immersion [Harrison & Bulstrode, 1987]. La chaleur et la pression de l'eau peuvent en outre aider à soulager la douleur, réduire le gonflement du genou et faciliter le mouvement.

Plusieurs raisons peuvent expliquer la diminution de la douleur observée chez les patients. Lors d'une récente étude Cochrane a conclu que l'exercice aquatique était susceptible de diminuer la douleur et d'améliorer la fonction chez les personnes atteintes d'arthrose du genou ou de la hanche, mais le type et la quantité d'exercice aquatique qui a été le plus bénéfique n'était pas clair [Bartels *et al.*, 2007]. La raideur articulaire a été réduite avec la thérapie physique aquatique et ce résultat peut être partiellement attribué au milieu aquatique tempéré. L'eau tempérée peut favoriser la détente musculaire, réduisant ainsi la tension musculaire autour des articulations et améliorer le mouvement du membre inférieur. Il est également possible que le soulagement de la douleur soit dû à la température et à la pression de l'eau sur la peau [Bender *et al.*, 2005]. Bien qu'il soit possible que certains avantages de la thérapie physique aquatique puissent être attribuables à l'immersion en eau tempérée seulement, une étude précédente sur la polyarthrite rhumatoïde a démontré des effets bénéfiques de l'hydrothérapie par rapport à l'immersion assise seule [Hall *et al.*, 1996]. Peut-être que l'aspect le plus important du milieu aquatique est finalement la flottabilité de l'eau, plutôt que sa chaleur, qui réduit les contraintes de poids sur les membres inférieurs et favorise l'exercice sans douleur, assurant une efficacité musculaire et articulaire.

Comme les programmes d'exercices terrestres, la réussite des programmes d'exercices aquatiques est sans doute partiellement dépendante de l'adhésion aux exercices prescrits. Compte tenu du fort taux de présence des participants au cours de la période de rééducation aquatique, il n'était pas possible d'évaluer la relation entre l'adhésion et le résultat.

VI.3.2 – Résultats du suivi longitudinal

Bien que la comparaison entre les deux groupes sur le contrôle postural ne montrent que des différences marquées en V2, la comparaison inter-groupe présente des améliorations de la stabilité posturale entre les quatre suivis chez les deux groupes. Quel rôle la cure aquatique joue-t-elle dans le processus de réadaptation du contrôle de l'équilibre chez les patients atteints de gonarthrose ? Quels facteurs sont essentiels dans le rétablissement de la stabilité posturale au cours de la cure ? Nous allons ensuite en discuter en détail.

VI.3.2.1 – Suivi à 3 semaines

Trois semaines après le début de la cure, soit la fin de l'hydrothérapie dans le groupe cure classique, et la fin de la première phase dans le groupe cure active, les deux groupes ont démontré des performances similaires de la stabilité posturale. Aucune différence de la surface couverte et de la longueur parcourue par le CPP entre les deux groupes n'est apparue. Par contre, des variations inter-groupe du contrôle postural ont été observées pendant ces trois semaines. Dans le groupe cure classique, la surface couverte a diminué par rapport à V0 en condition simple et en condition conflictuelle (proprioception perturbée, vision absente ou faussée). En outre, la longueur parcourue mesurée à ce moment a également diminué par rapport à V0 dans toutes les conditions. Cependant, le groupe cure active n'a pas montré de différences significatives de la surface couverte ni de la longueur parcourue par le CPP pendant ces trois semaines.

Durant les trois premières semaines, les patients dans les deux groupes ont reçu les quatre soins thermaux de manière identique : hydrojet, massages, illutation et balnéothérapie. Ces soins thermaux sont répétés 6 jours sur 7 pendant ces 3 semaines dans le groupe cure classique, mais 3 jours sur 7 dans le groupe actif. Un hydrojet est un système de propulsion aquatique à réaction : l'eau est pompée par le tube puis expulsée à haute vitesse par le jet de douche. La pression a ainsi un impact sur les muscles autour du genou. Le massage sous jet à 38 °C réalisé par un kinésithérapeute peut davantage aider à soulager la douleur et la raideur, puis réduire la contrainte sur les articulations et les muscles et permettre une plus grande amplitude du mouvement. L'application de boue minérale à 45 °C est favorable à la circulation du sang autour du genou et augmente l'efficacité musculaire. A la fin, une mobilisation en piscine à 32 °C en séances collectives entraîne une détente des muscles des membres inférieurs. La flottabilité diminue la charge exercée sur le genou en réduisant l'effet de la gravité, ce qui permet au patient de se déplacer ou de mobiliser le membre avec moins d'efforts. La réduction des soins à raison de 3 soins par semaine à la place de 6, dans le groupe cure active rend les patients plus tolérants à la cure et provoque moins de fatigue occasionnée et de difficultés de disponibilités. Mais d'après les résultats, on pense que l'augmentation de l'intensité des soins thermaux favorise l'efficacité de la cure sur la stabilité posturale pendant la première semaine de soins.

De plus, l'eau correspond à un milieu où les contraintes dues au poids du corps sont moindre, où la vitesse de mouvement est plus lente et où le schéma corporel est

probablement mieux perçu. Des modifications des fonctions neuromusculaires lors d'exercices en milieu aquatique, notamment une réduction de l'activité des agonistes associée à un haut niveau d'activité des antagonistes, ont déjà été enregistrés [Pöyhönen *et al.*, 2001]. Pour rappel, il a été démontré chez l'homme en bonne santé que les muscles antagonistes (tibial antérieur) demeuraient silencieux dans le maintien de la station debout [Okada & Fujiwara, 1984]. De telles modifications des fonctions neuromusculaires ne peuvent être exclues.

Il nous apparaît difficile d'exclure également que nos effets soient pour partie liés à la vasodilatation périphérique induite par l'immersion dans l'eau chaude qui augmente l'apport d'oxygène aux muscles squelettiques et facilite donc leur fonctionnement [Hall & O'Hare, 1990]. De même, cette immersion réduirait également la force de compression des articulations et favoriserait donc la mobilité articulaire [Harrison & Bulstrode, 1987].

L'impact de l'hydrothérapie au cours de ces premières trois semaines met en évidence des effets bénéfiques sur le contrôle postural chez les patients dans le groupe cure classique. La surface couverte et la longueur parcourue par le CPP ont toutes deux diminué chez le groupe cure classique par rapport à celles des autres groupes, en particulier dans les conditions de conflits sensoriels où la proprioception est perturbée. Il indique également que la chaleur, le massage, la turbulence et la flottabilité de l'eau jouent un rôle important dans la récupération de la fonction articulaire, surtout sur la proprioception du genou, notamment des muscles et des tendons autour du genou. Et puis, la sollicitation des muscles dans l'eau avec une charge moindre pourrait renforcer le poids de l'entrée proprioceptive [Berger *et al.*, 2006]. Ces soins thermaux renforceraient l'hypothèse d'une augmentation des entrées sensorielles notamment de nature proprioceptive qui améliorerait le contrôle postural.

VI.3.2.2 – Suivi à 6 semaines

Le suivi à 6 semaines, soit la fin de la deuxième phase dans le groupe cure active, a présenté des différences significatives entre les deux groupes. Les patients dans le groupe cure active ont des meilleures performances du contrôle posural que ceux dans le groupe cure classique à ce moment. La surface couverte est plus petite chez eux dans la condition simple, et la condition proprioception perturbée (la vision disponible ou absente). Par ailleurs, des variations inter-groupes du contrôle postural ont été observées pendant ces trois deuxièmes semaines. Dans le groupe cure classique, les patients ont des plus grandes

surfaces couvertes que lors de ces trois premières semaines de cure. En revanche, le groupe cure active a des plus petites surfaces couvertes que lors du premier test.

Après les trois premières semaines, la cure classique est terminée. Les quatre soins thermaux ont été effectués pendant cette période. Toutefois, au cours des trois deuxièmes semaines, les patients du groupe cure active profitent encore des soins ciblés individuels pour une réadaptation de la fonction du genou. Les résultats ont également démontré que ces soins ciblés individuels sont plus efficaces pendant les deuxième et troisième semaine que la cure classique. Les soins se déroulaient sur 3 semaines à raison de 3 séances par semaine, soit 9 séances et comportaient un travail préparatoire, un travail personnalisé consistant en d'étirements musculo-tendineux, un entraînement de rééducation proprioceptive, et une séance éducative collective. Dans le travail préparatoire des membres inférieurs, basé sur de la physiothérapie chaude locale, le sujet est en décubitus dorsal avec coussins sous la tête et sous le creux poplité du côté non massé. Sont réalisés : des massages manuels à type d'effleurage complet du membre inférieur, des pressions glissées ou pressions statiques étagées de la racine du membre inférieur jusqu'au pied inclus et retour à visée circulatoire sur le système veineux profond et superficiel, des manœuvres décontracturantes des muscles de la cuisse, du mollet et du pied suivis de pressions glissées circulatoires. Et puis, les patients profitent également d'un travail personnalisé consistant en d'étirements musculo-tendineux adaptés au bilan initial, réalisés par paliers ou en continu, en manuel ou par posture, suivi d'un renforcement musculaire de préférence statique ou en chaîne, toujours adapté au bilan initial et effectué contre résistance manuelle, de type diagonale spirale de Kabat, ou instrumentale, de type résistance élastique, analytique ou globale.

En effet, ces soins favorisent une détente des muscles du membre inférieur, surtout des muscles de la région péri-articulaire du genou. L'amélioration de la fonction musculaire a été confirmée en lien avec une atténuation des symptômes cliniques chez les patients souffrant de gonarthrose. La force du quadriceps fémoral dans l'arthrose du genou est associée à la fois à la gravité de la douleur et à la fonction physique [Slemenda *et al.*, 1997 ; O'Reilly *et al.*, 1998], bien que cela ne soit pas clairement démontré actuellement. Des travaux récents ont démontré un lien entre la force des abducteurs de la hanche et le moment d'adduction du genou. Les abducteurs de la hanche ont été choisis parce que certaines données ont suggéré qu'ils pouvaient aider à réduire le moment d'adduction du genou [Chang *et al.*, 2005]. Les abducteurs de la hanche aident à stabiliser le pelvis controlatéral pendant la marche, en vertu de l'effet sur le centre de masse du

corps, qui peut réduire le moment d'adduction ou de la force de compression au niveau du genou [Chang *et al.*, 2005]. Ainsi, il est possible que l'amélioration de la force musculaire de la hanche et du genou puisse être partiellement responsable de l'amélioration de la douleur au genou. Deux études antérieures avec le même programme d'intervention aquatique ont montré que les femmes atteintes d'arthrose d'extrémité inférieure pourraient réaliser des gains importants au niveau de la force d'abduction de la hanche et au niveau de l'adduction du genou et l'amplitude du mouvement après l'exercice aquatique [Templeton *et al.*, 1996 ; Suomi & Lindauer, 1997].

En outre, le travail global, proprioceptif et fonctionnel constitué de tests et d'exercices d'équilibre yeux ouverts et yeux fermés, sur plate-forme de rééducation SATEL et sur tapis et d'un travail de la locomotion sur parcours de marche standardisé, est vraiment indispensable pour la récupération de la fonction proprioceptive du genou. C'est un travail très ciblé. Nous savons qu'une faible entrée proprioceptive du membre inférieur peut provoquer un trouble de la stabilité du corps. Ce soin favorise une restauration de la proprioception du genou. Le lien entre la proprioception et le contrôle postural, sera discuté en détails dans la partie suivante. De plus, une séance éducative collective apporte des informations sur la maladie arthrosique, la prise en charge thérapeutique médicamenteuse et non médicamenteuse, les facteurs de risque (activités et poids), le chaussage et les aides techniques, des conseils d'hygiène de vie et d'exercices à faire à la maison, et la remise en main propre d'un livret de suivi.

Traditionnellement, le genou est connu pour avoir un rôle compensatoire dans la régulation du contrôle postural en position debout statique [Benson *et al.*, 1986 ; Winter *et al.*, 1998]. Cependant, avec une augmentation progressive de la complexité des tests en posture debout statique, par exemple, en faussant la vision et la proprioception ou en supprimant la vision. Une réponse adaptée à ces situations va plutôt impliquer la cheville, plus que la hanche [Horak & Nashner, 1986]. Notre étude prouve que le groupe cure active a des améliorations plus significatives du contrôle postural que le groupe cure classique lorsque la vision était absente ou la vision et la proprioception étaient modifiées après rééducation individuelle et ciblée. Par conséquent, nous supposons que la rééducation classique dans l'eau ainsi que les programmes de réadaptation individuels ont tendance à améliorer non seulement l'entrée tactile plantaire et celle du genou mais aussi les restaurations sensori-fonctionnelles d'autres muscles et articulations concernées telles que les quadriceps, les ischio jambiers, la hanche ou la cheville.

VI.3.2.3 – Suivi à 3 mois

Trois mois après le début de la cure, les deux groupes ont présenté des performances similaires au niveau de la stabilité posturale. Aucune différence de la surface couverte et la longueur parcourue par le CPP n'a été constatée entre eux. Par contre, des variations inter-groupes du contrôle postural ont été observées. Dans le groupe cure classique, la surface couverte a diminué par rapport à V0 dans quasiment toutes les conditions du test, et la longueur parcourue mesurée a quant à elle diminué par rapport à V0 dans toutes les conditions du test. Cependant, le groupe cure active a des longueurs parcourues plus petites dans les six conditions mais des surfaces couvertes plus grandes lorsque la proprioception était perturbée et la vision absente ou faussée par rapport à V2.

L'intervalle entre les deux derniers suivis est de 7 semaines, mais les deux groupes de patients ont des variations de stabilité posturale comparables. Bien que les performances d'équilibre des deux groupes fluctuent au cours des séances de traitement, nous pensons, selon les résultats, que les deux programmes de balnéothérapie différents ont des bénéfices thérapeutiques similaires à un moyen terme sur le contrôle de l'équilibre. En effet, nous sommes plus préoccupés par la durée de l'effet thérapeutique. Les deux programmes de rééducation thermique ont présenté une amélioration trois mois plus tard en comparaison à la performance avant la cure. Ceci a également confirmé que les interventions aquatiques augmentent la fonction articulaire des membres inférieurs 12 semaines ou 3 mois après la cure thermique comme mentionné dans les études antérieures [Melzer *et al.*, 2008 ; Forestier *et al.*, 2010]. Nous supposons que des soins de rééducation individuels dans le groupe cure active peuvent entraîner une meilleure performance neuromusculaire au fil du temps. Les patients du groupe cure active au suivi à 3 mois dépensent moins d'énergie pour maintenir leur équilibre corporel à 3 mois car ils ont une longueur plus faible mais n'ont pas plus de précision car la surface couverte n'est pas plus faible. De manière générale, les deux groupes de patients ont des variations de stabilité posturale comparables à moyen terme. La prise en charge en externe, moins intensive à raison de 3 soins par semaine à la place de 6 mais sur un temps plus long associant cure standardisée et rééducation fonctionnelle, est moins bénéfique que le traitement classique. Après une phase de repos, il est logique de reconditionner le patient à l'effort en corrigeant les troubles proprioceptifs et les insuffisances musculaires sous-jacentes, dans le but de prolonger l'efficacité à long terme de la cure thermique.

VI.3.3 – Restauration de la proprioception

La stabilité posturale dépend de l'effecteur musculaire et des entrées sensorielles : visuelles, vestibulaire et proprioceptives. Ces trois classes d'entrées sensorielles sont disponibles, et peuvent être coordonnées ou recrutées séparément selon les conditions environnementales pour trouver le meilleur compromis pour améliorer l'équilibre [Assaiante & Amblard, 1995]. Les entrées vestibulaires auraient toutefois peu de poids en station debout non perturbée [Winter *et al.*, 1998]. Chez l'adulte, l'information visuelle périphérique joue un rôle important dans la régulation du contrôle postural [Amblard & Crémieux, 1976]. Pourtant, une étude met en évidence une diminution du poids de l'afférence visuelle avec l'âge [Toupet *et al.*, 1992]. La suppression complète des informations visuelles n'affecte pas la capacité de l'adulte à stabiliser sa tête dans l'espace. De plus, l'obscurité induit une augmentation de l'efficacité de la stabilisation de la tête, indiquant que la stabilisation de la tête est la stratégie la plus appropriée pour maintenir l'équilibre lorsque les conditions d'équilibre deviennent de plus en plus difficiles [Assaiante & Amblard, 1995]. Une contribution somatosensorielle permanente s'ajoute aux informations visuelles et vestibulaires, et joue un rôle important suivant l'âge [Woollacott *et al.*, 1986 ; Berger *et al.*, 1987].

VI.3.3.1 – Proprioception et équilibre corporel

La proprioception est une modalité particulière de la sensibilité qui transmet aux centres nerveux supérieurs des informations neurosensitives relatives tant aux positions, orientations et mouvements des articulations qu'aux déformations mécaniques des tissus musculaires et cutanés [Pélissier *et al.*, 1993 ; Lephart *et al.*, 1997]. Les informations proprioceptives ont un rôle important dans la représentation corporelle [Paillard, 1973 ; Lackner, 1988], ainsi que dans l'organisation des activités motrices [Redon *et al.*, 1991] et le maintien de l'équilibre postural [Roll & Roll, 1988]. La proprioception, ou sensibilité profonde, a trois qualités : la sensibilité à la position, la sensibilité au mouvement et la sensibilité à la force [Richard & Orsal, 1994]. Ses récepteurs, de trois types (musculaires, tendineux et articulaires), permettent de faire connaître la position de notre corps dans l'espace et de nos membres par rapport au corps. Ils sont également capables d'indiquer la résistance contre laquelle s'effectuent les mouvements.

Les récepteurs musculaires, encore appelés récepteurs fusoriaux ou fuseaux neuromusculaires, sont des mécanorécepteurs qui participent de façon prépondérante au maintien de l'activité tonique des motoneurones par la voie réflexe dite myotatique. Ils sont sensibles à l'étirement des muscles antigravitaires. Ces récepteurs sont constitués de terminaisons sensorielles enroulant une région centrale de six à huit fibres musculaires, dites intrafusoriales, disposées parallèlement aux fibres musculaires ordinaires. Les récepteurs tendineux sont situés à l'extrémité de la fibre musculaire. Ils sont rarement au niveau même du tendon mais plutôt à proximité. Ce sont des mécanorécepteurs sensibles aux variations de tension musculaire, qu'elles soient dues à un allongement passif des fibres musculaires ou lors d'une contraction active du muscle, et sont disposés en série sur la fibre. Les récepteurs articulaires sont situés au niveau des articulations dans la capsule articulaire. Ils sont sensibles aux mouvements de l'articulation. Différents types de corpuscules peuvent être différenciés dont principalement les organes de Ruffini et les corpuscules de Pacini, ainsi que des récepteurs de type Golgi. Les plus importants sont les corpuscules de Ruffini qui sont sensibles à la position des pièces articulaires (sensibilité statique) et à la rotation de l'articulation (sensibilité dynamique) [Perrin & Lestienne, 1994].

Les informations proprioceptives sont importantes pour la régulation des oscillations du corps et jouent un rôle majeur quand les systèmes visuel et vestibulaire sont défaillants [Nakagawa *et al.*, 1993]. Elles contribuent à la programmation centrale des mouvements de précision et des réflexes neuromusculaires assurant la stabilité dynamique des articulations [Lephart *et al.*, 1997]. Cela nécessite un réglage permanent des muscles antagonistes et des muscles d'une même chaîne posturale [Bonnet *et al.*, 1976 ; Keshner *et al.*, 1988 ; Lavignolle *et al.*, 1993].

VI.3.3.2 – Extéroception plantaire

En plus de la proprioception du membre inférieur, l'extéroception plantaire joue également un rôle important pour l'entretien de la stabilisation corporelle. La plante du pied est le lien entre l'individu et son support naturel, le sol. La dissection sous loupe binoculaire permet de constater que le pied est pratiquement innervé exclusivement par le nerf tibial postérieur. De plus, l'extrême richesse en mécanorécepteurs articulaires, musculaires et surtout cutanés, en densité élevée en zone d'appui [Dubois & Levame,

1966], permet d'envisager la plante du pied comme une véritable plateforme de force chargée d'analyser les variations de pression à la base du corps humain [Enjalbert *et al.*, 1993]. De nombreux types de récepteurs sont impliqués dans l'extéroception : certains sont encapsulés (corpuscules ramifiés de Ruffini, lamellés de Pacini, lancéolés de Meissner), d'autres ne le sont pas (cellules de Merkel, terminaisons nerveuses libres).

De nombreuses études ont montré le rôle de la sole plantaire dans le processus d'équilibration [Okudo *et al.*, 1980 ; Diener *et al.*, 1984 ; Magnusson *et al.*, 1990], mais ces expérimentations n'ont pas permis de définir le rôle de chaque récepteur du fait de leur manque de sélectivité. Pourtant, il semblerait que les récepteurs cutanés profonds, et plus particulièrement les corpuscules de Pacini, soient mis en jeu pour détecter les variations de pression, et que les récepteurs musculaires permettent l'adaptation de la réponse des effecteurs [Pélissier *et al.*, 1993]. L'information tactile a un rôle très important dans le contrôle de l'équilibre et peut devenir prépondérante dans les situations de défaillance ou de conflit par rapport aux autres sources d'informations, visuelles et vestibulaires essentiellement [Perrin & Lestienne, 1994].

Bien que les afférences sensorielles de l'équilibration soient affectées à une détection et à une mesure particulière des positions et des interactions du sujet dans son environnement, leur confrontation présente des avantages certains tels que la détermination de la verticale subjective, la flexibilité des centres nerveux supérieurs dans le choix et l'élaboration de toute une variété de stratégies en fonction des demandes mécaniques ou attentionnelles de la tâche à effectuer, la commutation des entrées sensorielles entre elles et la compensation, c'est-à-dire la substitution d'un réseau nerveux par un autre [Ogata *et al.*, 1991 ; Claussen, 1994 ; Furman, 1997 ; Allum *et al.*, 1998].

VI.3.3.3 – Restauration de la proprioception après la cure thermique

Avec nos programmes de réadaptation aquatique, nous avons observé une amélioration de la précision proprioceptive de nos patients au moyen de leur stabilité posturale. La cure thermique dans nos études, en particulier les soins au cours des trois deuxièmes semaines, sont favorables à la restauration de la proprioception selon les résultats de V2. La mobilisation en piscine, les massages sous jet ou manuels, les étirements musculo-tendineux, et les exercices d'équilibre semblent susceptibles d'influer l'entrée proprioceptive. La diminution du nombre de mécanorécepteurs musculo-tendineux avec le vieillissement et les dégradations articulaires pourraient empêcher

l'amélioration significative de la proprioception. L'amélioration que nous avons observée dans notre étude pourrait être expliquée par des améliorations biomécaniques en raison des effets bénéfiques de la force musculaire et de l'amplitude accrue de mouvement du genou.

La proprioception du genou est présumée être nécessaire pour la protection contre les mouvements excessifs, la stabilisation pendant la posture statique et la coordination des mouvements, et donc potentiellement importante pour la prévention des lésions articulaires. Dans l'arthrose du genou, les facteurs principaux qui jouent un rôle important dans la dégradation de l'équilibre sont des douleurs, des fonctions articulaires altérées et la force du quadriceps diminuée [Jadelis *et al.*, 2001 ; Messier *et al.*, 2002]. En outre, la force des abducteurs de la hanche et les muscles de la cheville offrent un effet compensatoire important sur la proprioception du genou pour une régulation de l'équilibre [Jadelis *et al.*, 2001 ; Messier *et al.*, 2002] .

Le genou est connu pour avoir un rôle compensatoire dans la régulation du contrôle postural en position debout statique, permettant au membre inférieur de suivre le centre de gravité du corps de manière plus cohérente que si aucun mouvement n'était produit au niveau du genou [Winter *et al.*, 1998]. Malgré les effets bénéfiques de la réadaptation aquatique, les variations différentes de la surface couverte et la longueur parcourue dans le groupe cure active suggèrent que ce modèle d'intervention sur le genou une précision plus grande du contrôle de l'équilibre mais une économie d'énergie pour maintenir le contrôle postural.

Traditionnellement, de bonnes performances en posture debout statique avec conflits sensoriels sont dues à l'utilisation d'une stratégie d'anticipation, impliquant la cheville et la hanche [Horak & Nashner, 1986]. Néanmoins, peu d'indications sont disponibles concernant le rôle du genou dans ces situations. Des études électromyographiques ont montré que le signal de déclenchement primaire de correction de l'équilibrage automatique serait fourni par les entrées proprioceptives de la hanche ou du tronc, et les entrées du genou fourniraient un signal de déclenchement supplémentaire, permettant une réponse rapide des triceps jambier [Bloem *et al.*, 2005]. Notre étude montre que dans les situations les plus difficiles, où un minimum d'informations est disponible, l'altération de la fonction du genou empêche la génération d'une stratégie adéquate, ce qui entraîne une utilisation de stratégies inappropriées qui augmentent la possibilité d'une instabilité du corps. Après hydrothérapie, bien que la fonction articulaire du genou ne revienne jamais complètement à la normale, les stratégies compensatoires du membre inférieur et

l'intégration des entrées sensorielles ont été améliorées. Par conséquent, l'enregistrement des données biomécaniques sur le centre de pression des pieds indique ici une coordination musculaire plus appropriée au niveau des muscles du genou.

VII – DISCUSSION GENERALE

Le but de ce travail était d'estimer les caractéristiques chronobiologiques avant la cure thermique du contrôle postural chez les patients porteurs de gonarthrose et ensuite de comparer la performance de la stabilité posturale chez les patients, avant et après les soins thermaux réalisés selon deux programmes de rééducation hydrothérapeutique différents.

Cette étude a été réalisée auprès de 241 patients porteurs de gonarthrose qui avaient bénéficié au préalable d'une estimation complète de leur équilibre à l'aide d'un test posturographique. Par la suite, ces personnes ont profité de la cure thermique et ont été suivies régulièrement pendant 3 mois avec passation de tests posturographiques à 3 semaines, 6 semaines, et 3 mois après le début de la cure, permettant de comparer la stabilité posturale pendant la cure.

L'intérêt majeur de cette étude réside dans le fait qu'il s'agit de la première étude à ce jour à explorer les caractéristiques chronobiologiques du contrôle postural chez les patients porteurs de gonarthrose. Bien que les déficiences de la stabilité posturale chez les patients ont été présentées dans des études précédentes [Wegener *et al.*, 1997 ; Hassan *et al.*, 2001 ; Hinman *et al.*, 2002 ; Kiss, 2012], aucune d'entre elles n'a analysé les variations diurnes de la stabilité posturale chez les sujets. Notre étude a montré une variation diurne du contrôle de l'équilibre chez les patients porteurs d'arthrose du genou entre les différentes périodes de la journée. Des performances faibles du contrôle postural étaient présentes en fin de matinée à la fois dans la condition simple (les yeux ouverts, le support stable) et la condition conflictuelle (yeux fermés, support perturbé). Ces variations dépendent principalement de l'âge, du sexe, du poids, et de la condition physique du patient. Un homme de plus de 65 ans souffrant de gonarthrose a une tendance significative à présenter une variation diurne du contrôle postural. Selon les résultats, nous supposons que ces variations ont des liens avec la caractéristique clinique de la gonarthrose. Il a été montré que la douleur et la raideur matinale ont une influence sur la stabilité posturale. De même, le vieillissement, le genre et le poids doivent également être pris en considération par les patients et les médecins pour améliorer les stratégies préventives ou thérapeutiques de la gonarthrose.

Un autre intérêt majeur de cette étude réside dans la cure thermique. Les résultats du suivi longitudinal nous ont permis d'estimer l'effet thérapeutique de l'eau sur la stabilité posturale chez les sujets et de comparer également nos études avec une hydrothérapie classique antérieure [Forestier *et al.*, 2010]. Bien que largement utilisée dans les programmes de rééducation pour sa capacité à mobiliser, l'impact de l'hydrothérapie sur l'activité neuromusculaire a été peu étudié. La cure classique permet une amélioration des

symptômes cliniques malgré l'intensité plus élevée du traitement [Forestier *et al.*, 2010]. En fait, si les traitements physiques, à l'exemple de la cure thermique, du renforcement musculaire, ou de l'entraînement proprioceptif, font partie des recommandations du traitement non médicamenteux, aucun protocole standardisé n'a été jusqu'à présent clairement établi pour optimiser leur utilisation en pratique clinique. La prise en charge rééducative de cette étude, moins intensive mais sur une durée plus longue, associant cure standardisée et rééducation fonctionnelle, pourrait être une alternative intéressante au traitement classique actuel. Par ailleurs, les résultats de la cure active ont montré un effet thérapeutique similaire à celui de la cure classique, voire meilleur pendant les trois dernières semaines de cure. Une amélioration de la proprioception du membre inférieur a été observée dans le test posturographique, en particulier dans le groupe cure active. Grâce à la cure thermique et la rééducation fonctionnelle, les sujets pourraient bien réguler la stabilisation corporelle avec une meilleure intégration des entrées sensorielles et une meilleure utilisation des stratégies compensatrices du genou quand la vision et la proprioception, dans le test, étaient supprimées ou perturbées.

De plus, la posturographie statique sur plateforme est considérée comme l'une des méthodes les plus pratiques et efficaces pour évaluer l'équilibre postural de manière quantitative chez les personnes âgées arthrosiques. À partir des forces verticales exercées sur chaque capteur placé sous trois angles de la plate-forme, la valeur de pression des pieds peut être dérivée et représenter la localisation géométrique de l'ensemble des forces exercées sur la plate-forme. Cela permet également aux chercheurs d'observer très clairement les mouvements du centre de masse et l'effet des forces utilisées pour maintenir l'équilibre durant l'enregistrement.

Enfin, il y avait certaines limites de cette étude. En raison des restrictions de l'objectif et la disposition de cette étude, il n'y a pas de sujets sains impliqués dans la recherche. L'étude précédente sur les variations diurnes du contrôle postural chez les personnes âgées en bonne santé a montré que la variation du contrôle postural était plus marquée à midi que l'après-midi [Jorgensen *et al.*, 2012]. Bien que la variation circadienne sur le contrôle de l'équilibre chez les personnes âgées en bonne santé ait été révélée, aucune étude à ce jour n'a étudié la variation diurne sur le contrôle de l'équilibre chez les patients atteints d'arthrose du genou. C'est dans cet esprit que nous avons tenté d'étudier les effets des caractéristiques chronobiologiques sur le contrôle postural chez les patients arthrosiques.

Une autre limite à cette présente étude est la répartition des tests dans la journée. Il n'y avait qu'un écart d'une heure entre la fin de la matinée et le début de l'après-midi. De plus, aucun test n'a été réalisé dans la soirée, donc les performances du contrôle postural n'ont pas pu être évaluées le soir. Les études futures de la variation diurne de la stabilité posturale donc être plus convaincantes si les tests de contrôle de l'équilibre sont consécutifs, sur une période plus longue, avec une mesure simultanée de la douleur et de la fonction articulaires.

Enfin, il manque à cette étude un suivi à plus long terme. Dans notre étude, nous avons observé les performances du contrôle de l'équilibre entre deux groupes de patients uniquement sur trois mois. Les études futures concernant les thérapies aquatiques et leur impact sur la stabilité posturale devraient être réalisées sur un an, voire deux ans pour les patients souffrant d'arthrose du genou. Dans ce cas, la stabilité de l'équilibre à long terme après les interventions aquatiques serait peut-être estimée.

VIII – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude révèle que les patients porteurs de gonarthrose ont une stabilité posturale variable dans la journée, avec une meilleure performance en début d'après-midi qu'en fin de matinée dans des situations simples et conflictuelles. La variation diurne du contrôle de l'équilibre est plus marquée chez les patients plus âgés, plus lourds, et de sexe masculin dans les différentes conditions du test. Les performances posturales modifiées le matin peuvent être expliquées par la présence de douleurs articulaires plus prononcées. Toutefois, la charge des membres inférieurs chez les patients atteints de gonarthrose unilatérale ne peut pas être liée à la douleur.

D'autre part, cette étude permettait également de comparer les performances de la stabilité posturale avant et après deux programmes différents de rééducation hydrothérapeutique chez les patients atteints d'arthrose du genou. Ces deux programmes d'hydrothérapie, en particulier la cure active, entraînent des améliorations au niveau des fonctions articulaires du genou chez les patients souffrant de gonarthrose, avec notamment une augmentation des informations proprioceptives qui conduit à une meilleure performance du contrôle de l'équilibre.

Par conséquent, les stratégies préventives visant à réduire l'influence de la gonarthrose sur le contrôle postural devraient être davantage considérées par les patients et les médecins. Ces résultats mettent également en évidence la nécessité d'élaborer des stratégies applicatives pour prévenir la survenue d'événements indésirables dans la vie quotidienne du patient. Les relations entre le type et la gravité des symptômes cliniques de l'arthrose du genou et le contrôle postural ont besoin d'investigations plus approfondies.

IX – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adamson J, Cockayne S, Puffer S, Torgerson DJ.** Review of randomised trials using the post-randomised consent (Zelen's) design. *Clin Trials* 2006, 27: 305-19.
- Adrian ED, ed.** The physiological background of perception. Oxford: Clarendon Press, 1947.
- Allum JHJ, Bloem BR, Carpenter MG, Hulliger M, Hadders-Algra M.** Proprioceptive control of posture: a review of new concepts. *Gait Posture* 1998, 8: 214-42.
- Allum JHJ, Pfaltz CR.** Visual and vestibular contributions to pitch sway stabilization in the ankle muscles of normal and patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res* 1985, 58: 82-94.
- Alpini D, Cesarani A, Fraschini F, Kohen-Raz R, Capobianco S, Cornelio F.** Aging and vestibular system: specific tests and role of melatonin in cognitive involvement. *Arch Gerontol Geriatr Suppl* 2004: 13-25.
- Altman R, Asch E, Bloch D, Bole G, Borenstien D, Brandt K, Christy W, Cooke TD, Greenwald R, Hochberg M, et al.** Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. Classification of osteoarthritis of the knee. Diagnosis and therapeutic criteria committee of the American Rheumatism Association. *Arthritis Rheum* 1986, 29(8): 1039-49.
- Amblard B, Assaiante C, Crémieux J, Marchand A.** From posture to gait: which sensory input for which function? *In*: Brandt Th, Paulus W, Bles W, Dieterich M, Krafczyk S, Straube A, eds. Disorders of posture and gait. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1990: 168-76.
- Amblard B, Crémieux J, Marchand AR, Carblanc A.** Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. *Exp Brain Res* 1985, 61: 21-37.
- Amblard B, Crémieux J.** Rôle de l'information visuelle du mouvement dans le maintien de l'équilibre postural chez l'homme. *Agressologie* 1976, 17: 25-36.

- Anacker SL, Di Fabio RP.** Influence of sensory inputs on standing balance in community-dwelling elders with a recent history of falling. *Phys Ther* 1992, 72: 575-81.
- Anderson G, Yardley L, Luxon L.** A dual-task study of interference between mental activity and control of balance. *Am J Otol* 1998, 19: 632-7.
- Anderson JJ, Felson DT.** Factors associated with osteoarthritis of the knee in the first National Health and Nutrition Examination Survey (HANES I), evidence for an association with overweight, race, and physical demands of work. *Am J Epidemiol* 1988, 128: 179-89.
- Armstrong PW, Watts DG.** Clinical trials: randomization before consent. *Biomedicine* 1981, 34: 65-6.
- Arvidsson I, Eriksson E, Knutsson ESA, Arner S.** Reduction of pain inhibition on voluntary muscle activation by epidural analgesia. *Orthopedics* 1986, 9, 1415-9.
- Assaiante C, Amblard B.** An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Hum Mov Sci* 1995, 14 :13-43.
- Balter SG, Stokroos RJ, Akkermans E, Kingma H.** Habituation to galvanic vestibular stimulation for analysis of postural control abilities in gymnasts. *Neurosci Lett* 2004a, 366: 71-5.
- Balter SG, Stokroos RJ, De Jong I, Boumans R, Van de Laar M, Kingma H.** Background on methods of stimulation in galvanic-induced body sway in young healthy adults. *Acta Otolaryngol* 2004b, 124: 262-71.
- Balter SG, Stokroos RJ, Eterman RM, Paredis SA, Orbons J, Kingma H.** Habituation to galvanic vestibular stimulation. *Acta Otolaryngol* 2004c, 124: 941-5.
- Baron D.** Arthrose de la Clinique au traitement. Editions MED'COM 2011, 17.
- Bartels EM, Lund H, Hagen KB, Dagfinrud H, Christensen R, Danneskiold-Samsoe B.** Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2007, (4): CD005523.

- Bellamy N, Bell MJ, Goldsmith CH, Pericak D, Walker V, Raynauld JP, Torrance GW, Tugwell P, Polisson R.** The effectiveness of hylan G-F 20 in patients with knee osteoarthritis: an application of two sets of response criteria developed by the OARSI and one set developed by OMERACT-OARSI. *Osteoarthritis Cartilage* 2005, 13: 104-10.
- Bellamy N, Sothorn R, Campbell J.** Rhythmic variations in pain perception in osteoarthritis of knee. *J Rheumatol* 1990, 17: 364-72.
- Bellamy N, Sothorn RB, Campbell J, Buchanan WW.** Rhythmic variation in pain, stiffness, and manual dexterity in hand osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2002, 61, 1075-80.
- Bender T, Karagulle Z, Balint GP, Gutenbrunner C, Balint PV, Sukenik S.** Hydrotherapy, balneotherapy and spa treatment in pain management. *Rheumatol Int* 2005, 25: 220-4.
- Benson AJ, Spencer MB, Scott JR.** Thresholds for detection of the direction of whole body linear movement in the horizontal plane. *Aviat Space Environ Med* 1986;57:1088-96.
- Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JI, Maki B.** Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health* 1992, 83: 7-11.
- Berger L, Martinie P, Livain T, Bergeau J, Rougier P.** Immediate effects of physiotherapy session of lower limb by balneotherapy on postural control. *Ann Readapt Med Phys* 2006: 49: 37-43.
- Berger W, Quintern J, Dietz V.** Afferent and efferent control in control of stance and gait: developmental changes in children. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1987;66:244-252.
- Berthoz A, ed.** Le sens du mouvement. Paris: Odile Jacob, 1997.
- Berthoz A, Pavard B, Young LR.** Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linearvection) basic characteristics and visual-vestibular interactions. *Exp Brain Res* 1975, 23(5): 471-89.

- Berthoz A, Pozzo T.** Intermittent head stabilization during postural and locomotory tasks in humans. *In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, eds. Posture and gait. Amsterdam: Excerpta Medica, 1988: 189-98.*
- Berthoz A.** References frames for the perception and control of movement. *In: Paillard J, ed. Brain and space. Oxford: Oxford University Press, 1991: 81-111.*
- Bloem BR, Allum JHJ, Carpenter MG, Verschuuren GM, Honegger F.** Triggering of balance corrections and compensatory strategies in a patient with total leg proprioception loss. *Exp Brain Res* 2005, 142: 91-107.
- Bogle Thorbahn LD, Newton RA.** Use of the Berg Balance Test to predict falls in elderly persons. *Phys Ther* 1996, 76: 576-83.
- Bohannon RW, Larkin PA, Cook AC, Gear J, Singer J.** Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys Ther* 1984, 64: 1067-70.
- Bonde HV, Talman MLM, Kofoed H.** The area of the tidemark in osteoarthritis-a three dimensional stereological study in 21 patients. *APMIS* 2005, 113: 349-52.
- Bonnet C, Lestienne F, eds.** Percevoir et produire le mouvement. Paris: Armand Colin, 2003.
- Bonnet M, Gurfinkel S, Lipchits MJ, Popov KE.** Central programming of lower limb muscular activity in standing man. *Agressologie* 1976, 17: 35-42.
- Bos C, Benamouzig R, Bruhat A, Roux C, Valensi P, Ferriere F, Tome D.** Nutritional status after short-term dietary supplementation in hospitalized malnourished geriatric patients. *Clin Nutr* 2001, 20: 225-33.
- Boulgarides LK, McGinty SM, Willett JA, Barnes CW.** Use of clinical and impairment-based tests to predict falls by community-dwelling older adults. *Phys Ther* 2003, 83: 328-39.
- Brocklehurst JC, Robertson D, James-Groom P.** Clinical correlates of sway in old age-sensory modalities. *Age Aging*, 1982, 11: 1-10.

- Buskila D, Abu-Shakra M, Neumann L, Odes L, Shneider E, Flusser D, Sukenik S.** Balneotherapy for fibromyalgia at the Dead Sea. *Rheumatol Int* 2001, 20: 105-8.
- Carter JH.** The effect of aging upon selected visual functions: color vision, glare sensitivity, field of vision and accommodation. *In* : AR Liss (Ed) : Modern aging research: aging and human visual functions. New York, 1982, pp. 121-131.
- Chalmers TC, Smith H Jr, Blackburn B, Sliverman B, Schroeder B, Reiman D, Ambroz A.** A method for assessing the quality of a randomized control trial. *Control Clin Trials* 1981, 2: 31-49.
- Chang A, Hayes K, Dunlop D, Song J, Hurwitz D, Cahue S, Sharma L.** Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis progression. *Arthritis Rheum* 2005, 52: 3515-9.
- Chevalier X.** Physiopathogenesis of osteoarthritis. The osteoarthritic cartilage. *Press Med* 1998, 27: 81-7.
- Chevalier X.** Physiopathologie de l'arthrose. EMC 2005, 14-003-C-10.
- Cicuttini FM, Spector TD.** Osteoarthritis in the aged. Epidemiological issues and optimal management. *Drugs Aging* 1995, 6: 409-20.
- Claussen CF.** Vestibular compensation. *Acta Otolaryngol* 1994, 513 :33-6.
- Clément G, Gurfinkel VS, Lestienne F, Lipshitz MI, Popov KE.** Adaptation of postural control to weightlessness. *Exp Brain Res* 1984, 57: 61-72.
- Coggon D, Croft P, Kellingray S, Barrett D, MaLaren M, Cooper C.** Occupational physical activities and osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum* 2000, 43: 1443-9.
- Collet C, Paillard J, eds.** Mouvements et cerveau. Bruxelles: De Boeck, 2001.
- Conaghan PG, Vanharanta H, Dieppe PA.** Is progressive osteoarthritis an atheromatous vascular disease? *Ann Rheum Dis* 2005, 64: 1539-41.
- Conti P, Beaubaton D.** Role of structured visual field and visual reafference in accuracy of pointing movements. *Percept Mot Skills* 1980, 50(1): 239-44.

- Cooper C, Snow S, McAlindon TE, Kellingray S, Stuart B, Coggon D, Dieppe PA.** Risk factors for the incidence and progression of radiographic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2000, 43: 995-1000.
- Cordo PJ, Nashner LM.** Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J Neurophysiol* 1982, 47: 287-302.
- Creamer P, Lethbridge-Cejku M, Hochberg MC.** Factors associated with functional impairment in symptomatic knee osteoarthritis. *Rheumatology* 2000, 39: 490-6.
- Croft P, Jordan K, Jinks C.** "Pain elsewhere" and the impact of knee pain in older people. *Arthritis Rheum* 2005, 52: 2350-4.
- Crutchfield CA, Shumway-Cook A, Horak FB.** Balance and coordination training. In: Scully R, Barnes M, eds. *Physical therapy*. Baltimore: Lippincott, 1989: 825-43.
- Damasio AR, ed.** *Descartes' error*. New York: Putman, 1994.
- Davis MA, Ettinger WH, Neuhaus JM, Cho SA, Hauck WW.** The association of knee injury and obesity with unilateral and bilateral osteoarthritis of the knee. *Am J Epidemiol* 1989, 130: 278-88.
- De Klein A.** Experimental physiology of the labyrinth. *J Laryngol Otol* 1923, 38: 646-63.
- Dequeker J, Aerssens SJ, Luyten FP.** Osteoarthritis and osteoporosis: Clinical and research evidence of inverse relationship. *Aging Clin Exp Res* 2003, 15: 426-39.
- Dequeker J, Mokassa L, Aerssens J, Boonen S.** Bone density and local growth factors in generalized osteoarthritis. *Microsc Res Tech* 1997, 37: 358-71.
- Deschamps T, Magnard J, Cornu C.** Postural control as a function of time-of-day: influence of a prior strenuous running exercise or demanding sustained-attention task. *J Neuroeng Rehabil* 2013, 10: 26.
- Deviterne D, Gauchard GC, Jamet M, Vancon G, Perrin P.** Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. *Brain Res Bull* 2005, 64: 487-92.

- Diard JP, Vitte E, Semont A, Freyss G.** Equilibre, instabilité et chutes du sujet vieillissant. *Rev. Otoneuroophthalmol.*, 1993, 19-20: 82-5.
- Dichgans J, Held R, Young L, Brandt Th.** Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity. *Science* 1972, 178: 1217-19.
- Diener HC, Dichgans J, Gushlbauer B, Mau H.** The significance of proprioception on postural stabilisation as assessed by ischemia. *Brain Res* 1984, 296: 103-9.
- Dietz V, Trippel M, Horstmann GA.** Significance of proprioceptive and vestibulospinal reflexes in the control of stance and gait. In: Patla AE, ed. Adaptability of human gait. Amsterdam: Elsevier, 1991: 37-52.
- Ding C, Cicuttini F, Scott F, Glisson M, Jones G.** Sex differences in knee cartilage volume in adults: role of body and bone size, age and physical activity. *Rheumatology* 2003, 42: 1317-23.
- Diracoglu D, Aydin R, Baskent A, Celik A.** Effects of kinesthesia and balance exercises in knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol* 2005, 11, 303-310.
- Doheny EP, Greene BR, Foran T, Cunningham C, Fan CW, Kenny RA.** Diurnal variation in the outcomes of instrumented gait and quiet standing balance assessments and their association with falls history. *Physiol Meas* 2012, 33: 361-73.
- Dubois JP, Levame JH.** Anatomie descriptive du pied humain. Maloine, Paris, 1966.
- Duman I, Taskaynatan MA, Mohur H, Tan AK.** Assessment of the impact of proprioception exercises on balance and proprioception in patients with advanced knee osteoarthritis. *Rheumatol Int* 2012, 32, 3793-8.
- Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S.** Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol* 1990, 45: 192-7.
- Elkayam O, Ophir J, Brener S, Paran D, Wigler I, Efron D, Even-Paz Z, Politi Y, Yaron M.** Immediate and delayed effects of treatment at the Dead Sea in patients with psoriatic arthritis. *Rheumatol Int* 2000, 19: 77-82.

- Enjalbert M, Rabishong P, Micaleff JP, Péruchon E, Viel E, Eledjam JJ, Pélissier J.** Sensibilité plantaire et équilibration. In : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert (Eds) : Posture, équilibration et médecine de rééducation. Masson, Paris, 1993, pp. 9-23.
- Era P, Heikkinen E.** Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random samples of men of different ages. *J Gerontol* 1985, 40: 287-95.
- Eric Crubézy E, Goulet J, Bruzek J, Rougé D, Lund B.** Epidémiologie de l'arthrose et des enthésopathies dans une population européenne d'il y a 7 700 ans. *Rev Rhum* 2001, 68 : 1217-25.
- Ettinger MP.** Aging bone and osteoporosis: strategies for preventing fractures in the elderly. *Arch Intern Med* 2003, 163: 2237-46.
- Evans WJ, Campbell WW.** Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *J Nutr* 1993, 123: 465-8.
- Evans WJ.** What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995, 50: 5-8.
- Faber SC, Eckstein F, Lukasz S.** Sex differences in knee joint cartilage thickness, volume, and articular surface areas: assessment with quantitative three-dimensional MR imaging. *Skeletal Radiol* 2001, 30: 144-50.
- Farralari NL, Kuliwaba JS, Forword MR.** Cancellous bone micro-damage in the proximal femur: influence of age and osteoarthritis on damage morphology and regional distribution. *Bone* 2002, 31: 697-702.
- Felson DT, Anderson JJ, Naimark A, Walker AM, Meenan RF.** Obesity and knee osteoarthritis, the Framingham study. *Ann Intern Med* 1988, 109: 18-24.
- Felson DT, Nevitt MC.** Epidemiologic studies for osteoarthritis: new versus conventional study design approaches. *Rheum Dis Clin North Am* 2004, 30: 783-97.
- Felson DT, Zhang Y, Anthony JM, Naimark A, Anderson JJ.** Weight loss reduces the risk for symptomatic knee osteoarthritis in women. The Framingham Study. *Ann Intern Med* 1992, 116: 535-9.

Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman B, Aliabadi P, Levy D.

The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly : The Framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 1995, 38: 1500-5.

Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman B, Aliabadi P, Levy D.

Risk factors for incident radiographic knee osteoarthritis in the elderly. *Arthritis Rheum* 1997, 40: 728-33.

Fioravanti A, Valenti M, Altobelli E, Di Orio F, Nappi G, Crisanti A, Cantarini L,

Marcolongo R. Clinical efficacy and cost-effectiveness evidence of spa therapy in osteoarthritis. The results of “Naiade” Italian Project. *Panminerva Med* 2003, 45: 211-7.

Fitzgerald PL. Exercise for the elderly. *Med Clin North Am* 1985, 69: 189-96.

Fitzpatrick R, McCloskey DI. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during in humans. *J Physiol* 1994, 478: 173-86.

Foley A, Halbert J, Hewitt T, Crotty M. Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis: a randomized controlled trial comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening program. *Ann Rheum Dis* 2003, 62: 1162-7.

Forestier R, Desfour H, Tessier JM, Françon A, Foote AM, Genty C, Rolland C,

Roques CF, Bosson JL. Spa therapy in the treatment of knee osteoarthritis : a large randomised multicentre trial. *Ann Rheum Dis* 2010, 69: 660-5.

Forestier R, Françon A. Crenobalneotherapy for limb osteoarthritis: systematic review and methodological analysis. *Joint Bone Spine* 2008, 75: 138-48.

Forestier R. Magnitude and duration of the effects of two spa therapy courses on knee and hip osteoarthritis: an open prospective study in 51 consecutive patients. *Joint Bone Spine* 2000, 67: 296-304.

Forssberg H, Nashner LM. Ontogenic development of postural control in man:

adaptation to altered support and visual conditions during stance. *J. Neurosci* 1982 , 2: 545-52.

- Fortier LA, Nixon AJ.** Distributional changes in substance P nociceptive fibre patterns in naturally osteoarthritic articulations. *J Rheumatol* 1997 , 24: 524-30.
- Franke A, Reiner L, Pratzel HG, Franke T, Resch KL.** Long-term efficacy of random spa therapy in rheumatoid arthritis—a randomized, sham-controlled study and follow-up. *Rheumatology* 2000, 39: 894-902.
- Freyss G.** Vieillessement de l'équilibre, mise au point. *In* : A Morgon, JM Aran, L Collet, R Dauman, B Frayssé, G Freyss, R Pujol, A Sans, O Sterkers, P Tran Ba Huy, A Uziel (Eds) : Données actuelles sur la physiologie et la pathologie de l'oreille interne. Arnette, Paris, 1990, pp: 165-75.
- Furman JM.** Role of posturography in the management of vestibular patients. *Otolaryngol. Head Neck Surg* 1997, 112: 8-15.
- Gagey PM, Weber B.** Posturologie. Régulation et dérèglements de la station debout. Paris: Masson 1995.
- Gallagher D, Ruts E, Visser M, Heshka S, Baumgartner RN, Wang J, Pierson RN, Pi-Sunyer FX, Heymsfield SB.** Weight stability masks sarcopenia in elderly men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000 , 279: 366-75.
- Galloway MT, Jokl P.** The role of exercise in the treatment of inflammatory arthritis. *Bull Rheum Dis* 1993, 42: 1-4.
- Gauchard GC, Vancon G, Meyer P, Mainard D, Perrin P.** On the role of knee joint in balance control and postural strategies: Effects of total knee replacement in elderly subjects with knee osteoarthritis. *Gait & Posture* 2010, 32: 155-60.
- Gelse K, Soder S, Eger W, Diemtar T, Aigner T.** Osteophyte development- molecular characterization of differentiation stages. *Osteoarthritis Cartilage* 2003, 11: 141-148.
- Green J, McKenna F, Refern E, Chamberlain M.** Home exercises are as effective as outpatient hydrotherapy for osteoarthritis of the hip. *Br J Rheumatol* 1993, 32: 812-5.
- Gribble PA, Tucker WS, White PA.** Time-of-day influence on static and dynamic

- postural control. *J Athl Training* 2007, 42: 35-41.
- Guccione AA, Felson DT, Anderson JJ, Anthony JM, Zhang Y, Wilson PW, Kelly-Hayes M, Wolf PA, Kreger BE, Kannel WB.** The effects of specific medical conditions on the functional limitations of elders in the Framingham Study. *Am J Public Health* 1994, 84 :351-8.
- Guillemin F, Virion JM, Escudier P, De Talance N, Weryha G.** Effect on osteoarthritis of spa therapy at Bournonne-les-Bains. *Joint Bone Spine* 2001, 68: 499-503.
- Gurfinkel VS, Debreva EE, Levik YS.** The role of internal model in the position perception and planning of arm movement. *Fiziol Cheloveka* 1986, 12: 769-76.
- Gurfinkel VS, Levik YS, Popov KE, Smetanin BN.** Body scheme in the control of postural activity. *In: Gurfinkel VS, Ioffé ME, Massion J, Roll JP, eds. Stance and motion: facts and concepts.* New York: Plenum Press, 1988: 185-93.
- Gurfinkel VS, Levik YS.** Perceptual and automatic aspects of the postural body scheme. *In: Paillard J, ed. Brain and space.* Oxford: Oxford University Press, 1991: 147-62.
- Gurfinkel VS, Lipshits MI, Popov KE.** Stabilization of body position as the main task of postural regulation. *Fiziol Cheloveka* 1981, 7: 1217-9.
- Hale LA, Waters D, Herbison P.** A randomized controlled trial to investigate the effects of water-based exercise to improve falls risk and physical function in older adults with lower-extremity osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2012, 93: 27-34.
- Hall J, Skevington S, Maddison P, Chapman K.** A randomized and controlled trial of hydrotherapy in rheumatoid arthritis. *Arthritis Care Res* 1996, 9: 206-15.
- Hall JBD, O'Hare P.** The physiology of immersion. *Physiotherapy* 1990, 9: 206-15.
- Hamerman D.** The biology of osteoarthritis. *N Engl J Med* 1989, 320: 1322-30.
- Harrison R, Bulstrode S.** Percentage weight-bearing during partial immersion. *Physiother Pract* 1987, 3: 60-3.
- Hart DJ, Doyle DV, Spector TD.** Association between metabolic factors and knee osteoarthritis in women: the Chingford Study. *J Rheumatol* 1995, 22: 1118-23.

- Hart DJ, Doyle DV, Spector TD.** Incidence and risk factors for radiographic knee osteoarthritis in middle-aged women, the Chingford Study. *Arthritis Rheum* 1999, 42: 17-24.
- Hassan BS, Mockett S, Doherty M.** Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects. *Ann Rheum Dis* 2001, 60: 612-8.
- Haus E, Sackett-lundeen L, Smolensky MH.** Rheumatoid arthritis: circadian rhythms in disease activity, signs and symptoms, and rationale for chronotherapy with corticosteroids and other medications. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2012, 70: S3-10.
- Head H.** Studies in neurology, vol.2. London: Hodder, Stoughton, 1920.
- Herpin G, Gargouri I, Gauchard GC, Nisse C, Khadhraoui M, Elleuch B, Zmirou-Navier D, Perrin PP.** Effect of chronic and subchronic organic solvents exposure on balance control of workers in plant manufacturing adhesive materials. *Neurotox Res* 2009, 15: 179-86.
- Hill AM, Hoffmann T, Hill K, Oliver D, Beer C, McPhail S, Brauer S, Haines TP.** Measuring falls events in acute hospitals-a comparison of three reporting methods to identify missing data in the hospital reporting system. *J Am Geriatr Soc* 2010, 58: 1347-52.
- Hinman RS, Bennell KL, Metcalf BR, Crossley KM.** Balance impairment in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: a comparison with matched controls using clinical tests. *Rheumatology (Oxford)* 2002,41(12):1388-94.
- Hinman RS, Heywood SE, Day AR.** Aquatic physical therapy for hip and knee osteoarthritis: results of a single-blind randomized controlled trial. *Phys Ther* 2007, 87: 32-43.
- Hlavacka F, Kriskova M, Horak FB.** Modifications of human postural response to leg muscle vibration by electrical vestibular stimulation. *Neurosci Lett* 1995, 189: 9-12.

- Hochberg MC.** Epidemiology and genetics of osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol* 1991, 3: 662-8.
- Horak FB, Nashner LM.** Central programming of postural movements: adaptation to altered support surface configurations. *J Neurophysiol* 1986, 55: 1369-81.
- Hurley MV, Scott DL, Rees J, Newham DJ.** Sensorimotor changes and functional performance in patients with knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 1997, 56(11): 641-8.
- Inglin B, Woollacott M.** Age-related changes in anticipatory postural adjustments associated with arm movements. *J Gerontol* 1988, 43: 105-13.
- Jadelis K, Mille M, Ettinger WH, Messier SP.** Strength, balance and the modifying effects of obesity and knee pain: results from the observation arthritis study in seniors (OASIS). *J Am Geriatr Soc* 2001, 49: 884-91.
- Jaffe HI.** Metabolic, Degenerative and Inflammatory Diseases of Bones and Joints. Lea & Febiger, Philadelphia, US, 1972.
- Jamet M, Deviterne D, Gauchard GC, Vancon G, Perrin P.** Higher visual dependency increases balance control perturbation during cognitive task fulfilment in elderly people. *Neurosci Lett* 2004, 359: 61-4.
- Job-Deslandre C, Reinberg A, Delbarre F.** Chronoeffectiveness of indomethacin in four patients suffering from an evolutive osteoarthritis of the hip or knee. *Chronobiologia* 1983, 10: 245-54.
- Johnsson LG, Hawkins JE, Jr.** Sensory and neural degeneration with aging, as seen in microdissections of the human inner ear. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1972, 81: 179-93.
- Jordan K, Arden N, Doherty M, et al.** EULAR recommendations 2003: an evidence based approach to the management of knee osteoarthritis – report of a task force of the Standing Committee for International Clinical Study Inducing Therapeutic Trials (ESCISIT). *Ann Rheum Dis* 2003, 62: 1145-55.

- Jorgensen MG, Rathleff MS, Laessoe U, Caserotti P, Nielsen OB, Aagaard P.** Time-of-day influences postural balance in older adults. *Gait Posture* 2012, 35: 653-7.
- Kavounoudias A, Roll R, Roll JP.** Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol* 2001, 532: 869-78.
- Kenshalo DR.** Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. *J Gerontol* 1986, 41: 732-42.
- Keshner EA, Cohen H.** Current concepts of the vestibular system reviewed: 1. The role of the vestibulospinal system in postural control. *Am J Occup Ther* 1989, 43: 320-30.
- Keshner EA, Woollacoot MH, Debu B.** Neck, Trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans. *Exp. Brain Res* 1988, 71: 455-66.
- Kim HS, Yun DH, Yoo SD, Kim DH, Jeong YS, Yun JS, Hwang DG, Jung PK, Choi SH.** Balance control and knee osteoarthritis severity. *Ann Rehabil Med* 2011, 35: 701-9.
- Kiss RM.** Effect of degree of knee osteoarthritis on balancing capacity after sudden perturbation. *J Electromyogr Kines* 2012, 22: 575-81.
- Koes BW, Bouter LM, van der Heijden GJ.** Methodological quality of randomized trials on treatment efficacy in low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995, 20: 228-35.
- Konrad K, Tatnai T, Hunka A, Vereckei E, Korondi I.** Controlled trial of balneotherapy in treatment of low back pain. *Ann Rheum Dis* 1992, 51: 820-2.
- Korvick JA, Peacock JE Jr, Muder RR, Wheeler RR, Yu VL.** Addition of rifampin to combination antibiotic therapy for *Pseudomonas aeruginosa* bacteremia: prospective trial using the Zelen protocol. *Antimicrob Agents Chemother* 1992, 36: 620-5.
- Kovacs I, Bender T.** The therapeutic effects of Cserkeszolo thermal water in osteoarthritis of the knee: a double blind, controlled, follow-up study. *Rheumatol Int* 2002, 21: 218-21.

- Kowanko I, Pownall R, Knapp M, Swannel A, Mahoney P.** Circadian variations in the signs and symptoms of rheumatoid arthritis and in the therapeutic effectiveness of flurbiprofen at different times of day. *Br J Clin Pharmacol* 1981, 11: 477-84.
- Kunz R, Oxman AD.** The unpredictability paradox: review of empirical comparisons of randomized and non-randomized clinical trials. *BMJ* 1998, 317: 1185-90.
- Labrecque G, Vanier MC.** Biological rhythms in pain and in the effects of opioid analgesics. *Pharmacol Ther* 1995, 68: 129-47.
- Lackner JR.** Some proprioceptive influences on the perceptual representation of body shape and orientation. *Brain* 1988, 111: 281-97.
- Lacquaniti F, le Taillanter M, Lopiano L, Maioli C.** The control of limb geometry in cat posture. *J Physiol (Lond)* 1990, 426: 177-92.
- Lafont C, Dupui P, Costes-Salon MC, Albarede JL, Bessou P.** Equilibre et vieillissement. In : Albarède JL & Vellas P (Eds.). L'année gériatrique. Paris, Serdi, 1991: 151-91.
- Laoussadi S.** L'arthrose Descriptions, traitement et conseils. Ellipses 1997, 18.
- Large J, Gan N, Basic D, Jennings N.** Using the timed up and go test to stratify elderly inpatients at risk of falls. *Clin Rehabil* 2006, 20: 421-8.
- Larsen J, Pryce M, Harrison J.** Guidelines for physiotherapists working in and/or Managing Hydrotherapy pools. Melbourne, Victoria, Australia: Australian Physiotherapy Association 2002.
- Larsson AC, Petersson I, Ekdahl C.** Functional capacity and early radiographic osteoarthritis in middle-aged people with chronic knee pain. *Physiother Res Int* 1998, 3: 153-63.
- Lavignolle B, Bruniquel L, Puymirat E, Baujet A, Barat M, Senegas J.** Vertige, instabilité après traumatisme cervical bénin. In : J Pelissier, V Brun, M Enjalbert (Eds) : Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson, Paris, 1993, 26, pp. 236-46.

- Lawrence JS, Bremner JM, Bier F.** Osteo-arthritis, prevalence in the population and relationship between symptoms and x-ray changes. *Ann Rheum Dis* 1966, 25: 1-23.
- Le Pen C, Reygrobelle C, Gerentes I.** Financial cost of osteoarthritis in France. The “COART” France study. *Joint Bone Spine* 2005, 72: 567-70.
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH.** The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am. J. Sports Med* 1997, 25: 130-7.
- Lestienne F, Soechting J, Berthoz A.** Postural readjustment induced by linear motion of visual scenes. *Exp Brain Res* 1977, 28: 363-84.
- Lestienne FG, Gurfinkel VS.** Postural control in weightlessness: a dual process underlying adaptation to an unusual environment. *Trends Neurosci* 1988, 11: 359-63.
- Levi F, Le Louarn C, Reinberg A.** Timing optimized sustained indomethacin treatment of osteoarthritis. *Clin Pharmacol Ther* 1985, 37: 77-84.
- Lexell J.** Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995, 50: 11-6.
- Lin MR, Hwang HF, Hu MH, Wu HD, Wang YW, Huang FC.** Psychometric comparisons of the timed up and go, one-leg stand, functional reach, and Tinetti balance measures in community-dwelling older people. *J Am Geriatr Soc* 2004, 52: 1343-8.
- Lloyd DPC.** Principles of spinal reflex activity. In : Fulton JF, ed. A textbook of physiology. Philadelphia : WB Saunders, 1950: 78-109.
- Loeuille D, Chary-Valckenaere I.** Imagerie de l'arthrose. EMC (Elsevier, MassonSAS, Paris), Appareil locomoteur, 14-003C, 2008.
- Lord SR, Clark RS, Webster IW.** Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol* 1991, 46: 69-76.

- Lord SR, Menz HB.** Visual contributions to postural stability in older adults. *Gerontology* 2000, 46: 306-10.
- Lord SR, Sherrington C, Menz HB.** Fall in older people. 2nd ed. London: Cambridge University Press, 2007.
- Lund S, Broberg C.** Effects of different head positions on postural sway in man induced by a reproducible vestibular error signal. *Acta Physiol Scand* 1983, 117: 307-9.
- Lundin-Olsson L, Nyberg L, Gustafson Y.** "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet* 1997, 349: 617.
- Magnus R, ed.** Körperstellung. Berlin: Springer, 1924.
- Magnusson M, Enböm H, Johansson R, Pyykkö I.** The importance of somatosensory information from the feet in postural control in man. *In* : Th Brandt, W Paulus, W Bles, M Dieterich, S Krafczyk, A Straube (Eds) : Proceedings of the Xth International Symposium on disorders of posture and gait. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, Amsterdam, 1990, pp. 190-193.
- Manchester D, Woollacott M, Zederbauer-Hylton N, Marin O.** Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *J Gerontol* 1989, 44: 118-27.
- Martin JA, Brown TD, Heiner AD, Buckwalter JA.** Chondrocyte senescence, joint loading and osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res* 2004, 427: 96-103.
- Martin JP, ed.** The basal ganglia and posture. London: Pitman, 1967.
- Massion J, Woollacott MH.** Posture and equilibrium. *In*: Bronstein AM, Brandt T, Woollacott MH, eds. Clinical disorders of balance, posture and gait. London: Arnold, 1996: 1-18.
- Massion J.** Positionnement de la tête et du tronc, équilibre et mouvement. *In* : Pélissier J, Brun V, Enjalbert M, eds. Posture, équilibration et médecine de rééducation. Paris : Masson, 1993: 24-32.
- Massion J.** Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 1994, 4: 877-87.

- Massion J.** Postural control systems in developmental perspective. *Neurosci Biobehav Rev* 1998, 22: 465-72.
- Mathias S, Nayak US, Isaacs B.** Balance in elderly patients: the "get-up and go" test. *Arch Phys Med Rehabil* 1986, 67: 387-9.
- Mayoux-Benhamou MA.** Données épidémiologiques sur la détérioration discale. *Rev Rhum* 2000, 68 : 117-96.
- McAlindon T, Zhang Y, Hannan M, Naimark A, Weissman B, Castelli W, Felson D.** Are risk factors for patellofemoral and tibiofemoral knee osteoarthritis different? *J Rheumatol* 1996, 23: 332-7.
- Melzer I, Elbar O, Tsedek I, Oddsson L.** A water-based training program that include perturbation exercises to improve stepping responses in older adults: study protocol for a randomized controlled cross-over trial. *BMC Geriatr* 2008, 17: 8: 19-32.
- Messier SP, Glasser JL, Ettinger WH.** Declines in strength and balance in older adults with chronic knee pain: a 30 month longitudinal observation study. *Arthritis Rheum* 2002, 47: 141-8.
- Mitrovic DR, Riera H.** Synovial, articular cartilage and bone changes in rapidly destructive arthropathy (osteoarthritis) of the hip. *Rheumatol Int* 1992, 12: 17-22.
- Mittelstaedt H.** Interaction of eye-, head-, and trunk-bound information in spatial perception and control. *J Vestib Res* 1997, 7: 283-302.
- Mittelstaedt H.** Somatic graviception. *Biol Psychol* 1996, 42: 53-74.
- Moher D, Pham B, Jones A, Cook DJ, Jadad AR, Moher M, Tugwell P, Klassen TP.** Does quality of reports of randomized trials affect estimates of intervention efficacy reported in meta-analyses? *Lancet* 1998, 352: 609-13.
- Mori S, Haruff R, Burr DB.** Microcracks in the articular cartilage of human femoral heads. *Arch Pathol Lab Med* 1993, 117: 196-8.

- Mourey F, Camus A, d'Athis P, Blanchon MA, Martin-Hunyadi C, de Rekeneire N, Pfitzenmeyer P.** Mini motor test: a clinical test for rehabilitation of patients showing psychomotor disadaptation syndrome (PDS). *Arch Gerontol Geriatr* 2005, 40: 201-11.
- Mourey F, Pozzo T, Rouhier-Marcet I, Didier JP.** A kinematic comparison between elderly and young subjects standing up from and sitting down in a chair. *Age Ageing* 1998, 27: 137-46.
- Nakagawa H, Ohashi N, Watanabe Y, Mizokushi K.** The contribution of proprioception to posture control in normal subjects. *Acta Otolaryngol* 1993, 504: 112-6.
- Nashner LM, Berthoz A.** Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain Res* 1978, 150: 403-7.
- Nashner LM, McCollum G.** The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 1985, 8: 135-72.
- Nashner LM, Peters JF.** Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurol Clin* 1990, 8: 331-49.
- Nashner LM, Woollacott M.** The organization of rapid postural adjustments of standing humans: an experimental-conceptual model. In: Talbott RE, Humphrey DR, eds. Posture and movement. New York: Raven Press, 1979: 243-57.
- Nashner LM.** Computerized dynamic posturography. In: Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM, eds. Handbook of balance function testing. London: Thomson Learning, 1997: 280-307.
- Nevitt MC, Cummings SR, Hudes ES.** Risk factors for injurious falls: a prospective study. *J Gerontol* 1991, 46: 164-70.
- Nguyen M, Revel M, Dougados M.** Prolonged effects of 3 week therapy in spa resort on lumbar spine, knee and hip osteoarthritis: follow-up after 6 months: A randomized controlled trial. *Br J Rheumatol* 1997; 36: 77-81.

- Nimni M, Deshmukh K.** Differences in collagen metabolism between normal and osteoarthritic human articular cartilage. *Science* 1973, 181: 751-2.
- Nouijai A, Maghraoui A.** Physiopathologie de l'arthrose. 2007, Cours.htmindex.htm.
- O'Reilly SC, Jones A, Muir KR, Doherty M.** Quadriceps weakness in knee osteoarthritis: the effect on pain and disability. *Ann Rheum Dis* 1998, 57: 588-94.
- Ogata M, Sekitani T, Hirata T, Okuzono T, Kanaya K, Tanara T.** Compensatory process of vestibular neuronitis. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)*, 1991;481(suppl.):436-9.
- Okada M, Fujiwara K.** Relation between sagittal distribution of the foot pressure in upright stance and relative EMG magnitude in some leg and foot muscles. *J Hum Ergol* (Tokyo) 1984, 13: 97-105.
- Okudo J, Watanabe I, Baron JB.** Study on influence of the plantar mechanoreceptor on body sways. *Agressologie* 1980, 21: 61-9.
- Paillard A, Denise P, Barraud PA, Roux A, Cian C.** The elevator illusion results from the combination of body orientation and egocentric perception. *Neurosci Lett* 2009, 464: 156-9.
- Paillard J.** Motor and representation framing in space. *In*: Paillard J, ed. *Brain and space*. Oxford: Oxford University Press, 1991: 163-82.
- Paillard J.** Proprioception musculaire et sens de la position. *Arch. Ital. Biol.*, 1973;3:451-461.
- Patel H, Harlalka G, Crossby A.** Troyer Syndrom. *GeneReviews*, Seattle, US, 2004.
- Paulus WM, Straube A, Brandt T.** Visual stabilization of posture. Physiological stimulus characteristics and clinical aspects. *Brain* 1984, 107: 1143-63.
- Pavard B, Berthoz A.** Linear acceleration modifies the perceived velocity of a moving visual scene. *Perception* 1977, 6(5): 529-40.

- Pélissier J, Brun V, Enjalbert M.** Posture, équilibration : quelques repères pour le rééducateur. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert (Eds) : Posture, équilibration et médecine de rééducation. Masson, Paris, 1993, 26, pp. 1-9.
- Pérennou D, Amblard B.** La posture et l'équilibre. *J Réadapt Méd* 2001, 21: 19-29.
- Perennou D, Decavel P, Manckoundia P, Penven Y, Mourey F, Launay F, Pfitzenmeyer P, Casillas JM.** Evaluation of balance in neurologic and geriatric disorders. *Ann Readapt Med Phys* 2005, 48: 317-35.
- Perrin C, ed.** L'homme et ses espaces. Nancy : Presses Universitaires de Nancy, 1991.
- Perrin P, Jeandel C, Perrin C, Courant P.** Contribution de la posturographie statique et dynamique à l'étude du vieillissement physiologique de l'équilibration. *Rev Otoneuroophthalmol* 1993, 19: 19-20 : 95-9.
- Perrin P, Jeandel C, Perrin CA, Bene MC.** Influence of visual control, conduction, and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults. *Gerontology* 1997, 43: 223-31.
- Perrin P, Lestienne F.** Mécanismes de l'équilibration humaine: exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation. Masson, Paris, France, 1994.
- Perrin P, Perrin C, Schneider D, Béné MC.** Exploration of the role of labyrinthine functions on balance control using static posturography. *Neurotol Newslett* 1996, 2: 54-9.
- Perrin PP, Gauchard GC, Perrot C, Jeandel C.** Effects of physical and sporting activities on balance control in elderly people. *Br J Sports Med* 1999, 33: 121-6.
- Pitts DG.** Dark adaptation and aging. *J Am Optom Assoc* 1982, 53: 37-41.
- Podsiadlo D, Richardson S.** The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991, 39: 142-8.
- Pöyhönen T, Kyröläinen H, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mätkiä E.** Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercise under water. *Clin Biomech (Bristol Avon)* 2001, 16: 496-505.

- Pyykko I, Jantti P, Aalto H.** Postural control in the oldest olds. *Adv Otorhinolaryngol* 1988, 41: 146-51.
- Rademaker GGJ, ed.** Das stehen: statische reactionen, gleichwichtsreaktionen und muskeltonus unter besondere berucksichtigung ihres verhaltens bei kleinhirnlosen tieren. Berlin: Springer, 1931.
- Rannou F, Coudeyre E, Ribinik P, Macé Y, Poiraudreau S, Revel M.** Establishing recommendations for physical medicine and rehabilitation: the SOFMER methodology. *Ann Readapt Med Phys* 2007, 50: 100-10.
- Rat AC, Coste J, Pouchot J, Baumann M, Spitz E, Retel-Rude N, Le Quintrec JS, Dumont-Fischer D, Guillemin F.** OAKHQOL: a new instrument to measure quality of life in knee and hip osteoarthritis. *J Clin Epidemiol* 2005, 58, 47-55.
- Redler I.** A scanning electron microscopic study of human normal and osteoarthritis articular cartilage. *Clin Orthop* 1974, 103: 262-8.
- Redon C, Hay L, Velay JL.** Proprioceptive control of goal-directed movements in man, studied by means of vibratory muscle tendon stimulation. *J. Mot. Behav* 1991, 23: 101-8.
- Reschke MF, Bloomberg JJ, Harm DL, Paloski WH, Layne C, McDonald V.** Posture, locomotion, spatial orientation, and motion sickness as a function of space flight. *Brain Res Brain Res Rev* 1998,28: 102-17.
- Reschke MF, Parker DE, Harm DL, Michaud L.** Ground-based training for the stimulus rearrangement encountered during spaceflight. *Acta Otolaryngol Suppl* 1988, 460: 87-93.
- Richard D, Orsal D.** Neurophysiologie : physiologie cellulaire et systèmes sensoriels - Tome I. Nathan Université, Paris, 1994, 224.
- Ripoll H.** Stratégies oculomotrices impliquées dans l'exécution des habiletés sportives de précision. *Neurosciences du Sport*. Paris 1987, INSEP: 301-28.
- Roberts TDM, ed.** Neurophysiology of postural mechanisms. London: Butterworths, 1979.

- Roddy E, Doherty M.** Guidelines for management of osteoarthritis published by the American College of Rheumatology and the European League Against Rheumatism: Why are they so different? *Rheum Dis Clin North Am* 2003, 29: 717-31.
- Roll JP, Roll R.** From eye to foot. A proprioceptive chain involved in postural control. *In*: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, eds. Posture and gait: development, adaptation and modulation. Amsterdam: Elsevier Science, 1988: 95-104.
- Roll JP, Vedel JP, Roll R.** Eye, head and skeletal muscle spindle feedback in the elaboration of body references. *Prog Brain Res* 1989, 80: 113-23.
- Roll R, Gilhodes JC, Roll JP, Popov K, Charade O, Gurfinkel VS.** Proprioceptive information processing in weightlessness. *Exp Brain Res* 1998, 122: 393-402.
- Rosenhall U.** Degenerative patterns in the aging human vestibular neuroepithelia. *Acta Otolaryngol.*, 1975, 79: 67-80.
- Salo P.** The role of joint innervation in the pathogenesis of arthritis. *Can J Surg* 1999, 42, 91-100.
- Schellings R, Kessels AG, ter Riet G, Sturmans F.** The Zelen design may be the best choice for a heroin-provision experiment. *J Clin Epidemiol* 1999, 52: 503-7.
- Schiano A, Marchetti S, Bardot P, Sambuc P, Bardoc A, Serratrice G.** L'évolution de la sensibilité avec l'âge : étude par des tests cliniques quantitatifs. *Ann Réadapt Méd Phys* 1998, 31: 301-18.
- Schieppati M, Hugon M, Grasso M, Nardone A, Galante M.** The limits of equilibrium in young and elderly normal subjects and in parkinsonians. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994, 93: 286-98.
- Setton LA, Elliott DM, Mow VC.** Altered mechanics of cartilage with osteoarthritis : human osteoarthritis and an experimental model of joint degeneration. *Osteoarthritis Cartilage* 1999, 7: 2-14.

- Sharif M, Whitehouse A, Sharan P, Perry M, Adams M.** Increased apoptosis in human osteoarthritic cartilage corresponds to reduced cell density and expression of caspase-3. *Arthritis Rheum* 2004, 50: 507-15.
- Sharma L, Lou C, Felson DT, Dunlop DD, Kirwan-Mellis G, Hayes KW, Weinrach D, Buchanan TS.** Laxity in healthy and osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum* 1999, 42: 861-70.
- Sharma L, Pai YC.** Impaired proprioception and osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol* 1997, 9: 253-8.
- Sherrington C, ed.** The integrative action of the nervous system, 2nd ed. New Haven: Yale University Press, 1947.
- Sherrington C, ed.** The integrative action of the nervous system. New Haven: Yale University Press, 1906.
- Shumway-Cook A, Horak FB.** Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther* 1986, 66: 1548-50.
- Skelton D, Dinan SM.** Exercise for falls management: Rationale for an exercise program aimed at reducing postural instability. *Physiothe Theo Prac* 1999, 15: 105-20.
- Skinner HB, Barrack RL, Cook SD.** Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop Relat Res* 1984, 184: 208-11.
- Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazzuca S, Braunstein EM, Katz BP, Wolinsky FD.** Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Ann Inter Med* 1997, 127: 97-104.
- Smolensky MH, D'Alonzo GE.** Medical chronobiology: concepts and applications. *Am Rev Respir Dis* 1993, 147: S2-19.
- Sørensen RR, Jørgensen MG, Rasmussen S, Skou ST.** Impaired postural balance in the morning in patients with knee osteoarthritis. *Gait Posture* 2014, 39, 1040-4.

- Spector TD, Hart DJ, Doyle DV.** Incidence and progression of osteoarthritis in woman with unilateral knee disease in the general population: the effect of obesity. *Ann Rheum Dis* 1994, 53: 565-8.
- Spooner JW, Sakala SM, Baloh RW.** Effect of aging on eye tracking. *Arch Neurol* 1980, 37: 575-6.
- Stelmach GE, Worringham CJ.** Sensorimotor deficits related to postural stability. Implications for falling in the elderly. *Clin Geriatr Med* 1985, 1: 679-94.
- Straube A, Botzel K, Hawken M, Paulus W, Brandt T.** Postural control in the elderly: Differential effects of visual, vestibular and somatosensory input. *Posture and Gait: Development, Adaptation and Modulation*. Amsterdam: Elsevier, 1988: 105-114.
- Strubel D, Jacquot JM.** Troubles posturaux du sujet âgé : mécanismes et prise en charge. In : J Péliissier, V Brun, M Enjalbert (Eds) : *Posture, équilibration et médecine de rééducation*. Masson, Paris, 1993, 26, pp. 199-205.
- Strubel D, Martin-Hunyadi C.** Le vieillissement de l'équilibration. *Rev Oto neuro ophtal* 1991, 11: 7-12.
- Strubel D.** Vieillesse physiologique de la posture : effets additifs des pathologies. Colloque, Nancy, 1996.
- Sukenik S, Flusser D, Abu-Shakra M.** The role of spa therapy in various rheumatic diseases. *Rheum Dis Clin North Am* 1999, 25: 883-97.
- Sunahara FA, Johnson WH, Taylor NB.** Vestibular Stimulation and Forearm Blood Flow. *Can J Physiol Pharmacol* 1964, 42: 199-207.
- Suomi R, Collier D.** Effects of arthritis exercise programs on functional fitness and perceived activities of daily living measures in older adults with arthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2003, 84: 1589-94.
- Suomi R, Kocaja D.** Postural sway characteristics in women with lower extremity arthritis before and after aquatic exercise intervention. *Arch Phys Med Rehabil* 2000, 81: 780-5.

- Suomi R, Lindauer S.** Effectiveness of arthritis foundation aquatic program on strength and range of motion in women with arthritis. *J Aging Phys Activity* 1997, 5: 341-51.
- Sylvester K.** Investigation of the effects of hydrotherapy in the treatment of osteoarthritic hips. *Clin Rehabil* 1989, 4: 223-8.
- Tarantola J, Nardone A, Tacchini E, Schieppati M.** Human stability improves with the repetition of the task : effect of foot position and visual condition. *Neurosci Lett* 1997, 228: 75-8.
- Teasdale N, Stelmach GE, Breunig A, Meeuwsen HJ.** Age differences in visual sensory integration. *Exp Brain Res* 1991, 85: 691-6.
- Teasdale N, Stelmach GE, Breunig A.** Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *J Gerontol* 1991a, 46: 238-44.
- Templeton MS, Booth DL, O'Kelly WD.** Effects of aquatic therapy on joint flexibility and functional ability in subjects with rheumatic disease. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996, 376-81.
- Thelen DG, Brockmiller C, Ashton-Miller JA, Schultz AB, Alexander NB.** Thresholds for sensing foot dorsi- and plantarflexion during upright stance: effects of age and velocity. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1998, 53: 33-8.
- Thelen DG, Schultz AB, Alexander NB, Ashton-Miller JA.** Effects of age on rapid ankle torque development. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1996, 51: 226-32.
- Thelen DG, Wojcik LA, Schultz AB, Ashton-Miller JA, Alexander NB.** Age differences in using a rapid step to regain balance during a forward fall. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997, 52: 8-13.
- Timiras PS.** Physiology of aging. *Mountcastle Med. Physiol* 1980: 1986-99.
- Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF.** Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 1988, 319: 1701-7.

- Tinetti ME.** Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc* 1986, 34: 119-26.
- Tishler M, Rosenberg O, Levy O, Elias I, Amit-Vazina M.** The effect of balneotherapy on osteoarthritis. Is an intermittent regimen effective? *Eur J Intern Med* 2004, 15: 93-6.
- Toupet M, Gagey PM, Heuschen S.** Vestibular patients and aging subjects lose use of visual input and expend more energy in static postural control. *In* : B Vellas, M Toupet, L Rubenstein, JL Albarède, Y Christen (Eds) : Falls, balance and gait disorders in the elderly. Elsevier Science, Amsterdam, London, Paris, New York, Tokyo, 1992, pp. 183-98.
- Toupet M, Gagey PM.** Le vieillissement du système postural fin : effets comparés des atteintes vestibulaires. *Critique Posturologie* 1991, 45: 1-16.
- Trousselard M, Barraud PA, Nougier V, Raphel C, Cian C.** Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004, 20: 355-62.
- Tubach F, Ravaud P, Baron G, Falissard B, Logeart I, Bellamy N, Bombardier C, Felson D, Hochberg M, Van de Heijde D, Dougados M.** Evaluation of clinically relevant states in patient reported outcomes in knee and hip osteoarthritis: the patient acceptable symptom state. *Ann Rheum Dis* 2005, 64: 34-7.
- Tubach F, Ravaud P, Baron G, Falissard B, Logeart I, Bellamy N, Bombardier C, Felson D, Hochberg M, Van de Heijde D, Dougados M.** Evaluation of clinically relevant changes in patient reported outcomes in knee and hip osteoarthritis: the minimal clinically important improvement. *Ann Rheum Dis* 2005, 64: 29-33.
- Van Baar ME, Dekker J, Lemmers JA, Oostendorp RA, Bijlsma JW.** Pain and disability in patients with osteoarthritis of hip or knee. *J Rheumatol* 1998, 25: 125-33.
- Van den Berge WB.** Osteoarthritis year 2012 in review : pathomechanisms of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2011, 19: 338-41.

- Van Gijn J.** The babinski sign and the pyramidal syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1978, 41: 865-73.
- Van Saase J, Van Romunde L, Cats A, Vandenbroucke JP, Valkenburg HA.**
Epidemiology of osteoarthritis: Zoetermeer surgery. Comparison of radiological osteoarthritis in a Dutch population with that in 10 other populations. *Ann Rheum Dis* 1989, 48: 271-80.
- Van Tubergen A, Hidding A.** Spa and exercise treatment in ankylosing spondylitis: fact or fancy? *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2002, 16: 653-66.
- Vellas BJ, Rubenstein LZ, Ousset PJ, Faisant C, Kostek V, Nourhashemi F, Allard M, Albarede JL.** One-leg standing balance and functional status in a population of 512 community-living elderly persons. *Aging (Milano)* 1997a, 9: 95-8.
- Vellas BJ, Wayne SJ, Romero L, Baumgartner RN, Rubenstein LZ, Garry PJ.** One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. *J Am Geriatr Soc* 1997b, 45: 735-8.
- Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SM, Cardoso JR, de Bie RA, Boers M, de Vet HC.**
Balneotherapy for rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2003 , CD000518.
- Verhagen AP, de Vet HC, de Bie RA, Kessels AG, Boers M, Knipschild PG.**
Balneotherapy for rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Cochrane Databass Syst Rev* 2000, CD000518.
- Vincent S.** Vieillissement de l'équilibre. *Rev. Otoneuroophthalmol.*, 1993,19: 59-62.
- Wallmann HW.** Comparison of elderly nonfallers and fallers on performance measures of functional reach, sensory organization, and limits of stability. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001, 56: 580-3.
- Warren WH, Jr., Blackwell AW, Morris MW.** Age differences in perceiving the direction of self-motion from optical flow. *J Gerontol* 1989, 44: P147-53.
- Wegener L, Kisner C, Nichols D.** Static and dynamic balance responses in person with bilateral knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*

1997, 25: 13-8.

Weiss C, Mirow S. An ultrastructural study of osteoarthritic changes in articular cartilage of human knee. *J Bone Joint Surg Am* 1972, 54: 954-72.

Whipple RH, Wolfson LI, Amerman PM. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home resident: an isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 1987, 35: 13-20.

Wigler I, Elkayam O, Paran D, Yaron M. Spa therapy for gonarthrose: a prospective study. *Rheumatol Int* 1995, 15: 65-8.

Winter DA, Patla AE, Prince F, Ichac M, Gielo-Perczak K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998, 80: 1211-21.

Wolfson L, Whipple R, Amerman P, Tobin JN. Gait assessment in the elderly: a gait abnormality rating scale and its relation to falls. *J Gerontol* 1990, 45: 12-9.

Wolfson L, Whipple R, Derby CA, Amerman P, Murphy T, Tobin JN, Nashner L. A dynamic posturography study of balance in healthy elderly. *Neurology* 1992, 42: 2069-75.

Woodhull-McNeal AP. Changes in posture and balance with age. *Aging*, 1992, 4: 219-25.

Woollacott M, Shumway-Cook A, Nashner LM. Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Aging Hum Dev* 1986, 23: 97-114.

Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture* 2002, 16: 1-14.

Woollacott MH. Age-related changes in posture and movement. *J. Gerontol.*, 1993, 48: 56-66.

Yilmaz B, Gokteps AS, Alaca R, Mohur H, KLayer AH. Comparison of a generic and a disease specific quality of life scale to access a comprehensive spa therapy program for knee osteoarthritis. *Joint Bone Spine* 2004, 71: 563-6.

Zelen. Zelen protocols. *Lancet* 1992, 339: 1574-5.

Zhang W, Doherty M, Arden N, Bannwarth B, Bijlsma J, Gunther KP, Hauselmann HJ, Herrero-Beaumont G, Jordan K, Kaklamanis P, Leeb B, Lequesne M, Lohmander S, Mazieres B, Marin-More E, Pavelka K, Pendleton A, Punzi L, Swoboda B, Varatojo R, Verbruggen G, Zimmermann-Gorska I, Dougados M. Evidence-based recommendations for the management of hip osteoarthritis: report of a task force of the EULAR Standing Committee for International Clinical Studies Including Therapeutics (ESCISIT). *Ann Rheum Dis* 2005, 64: 669-81.

Zhang W, Moskowitz RW, Nuki G, Abramson S, Altman RD, Arden N, Bierma-Zeinstra S, Brandt KD, Croft P, Doherty M, Dougados M, Hochberg M, Hunter DJ, Kwoh K, Lohmander LS, Tugwell P. OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, Part II: OARSI evidence-based, expert consensus guidelines. *Osteoarthritis Cartilage* 2008, 16: 137-62.

X – ANNEXES

Annexe 1 :

Communication affichée à la Journée Doctorale, 1^{er} Avril 2014

Variations diurnes du contrôle postural chez les patients porteurs d'arthrose symptomatique du genou.

Z. Zhang ¹, A. Lion ¹, I. Chary-Valckenaere ^{2,3}, D. Loeuille ^{2,3}, A.-C. Rat ^{2,3,4}, J. Paysant ^{1,5}, Ph. Perrin ^{1,6}

¹ Université de Lorraine, EA 3450 – Développement, Adaptation et Handicap, Faculté de Médecine et UFR STAPS de Nancy ; ² Service de Rhumatologie, CHU de Nancy ;

Introduction et objectif

La gonarthrose est l'affection rhumatologique la plus fréquente. Sa symptomatologie pouvant fluctuer selon un rythme circadien, il est apparu intéressant d'évaluer les variations de la stabilité posturale.

Le but de cette étude a été d'étudier le contrôle postural chez les patients porteurs d'une gonarthrose symptomatique au cours de la journée afin d'en

Participants et Méthode

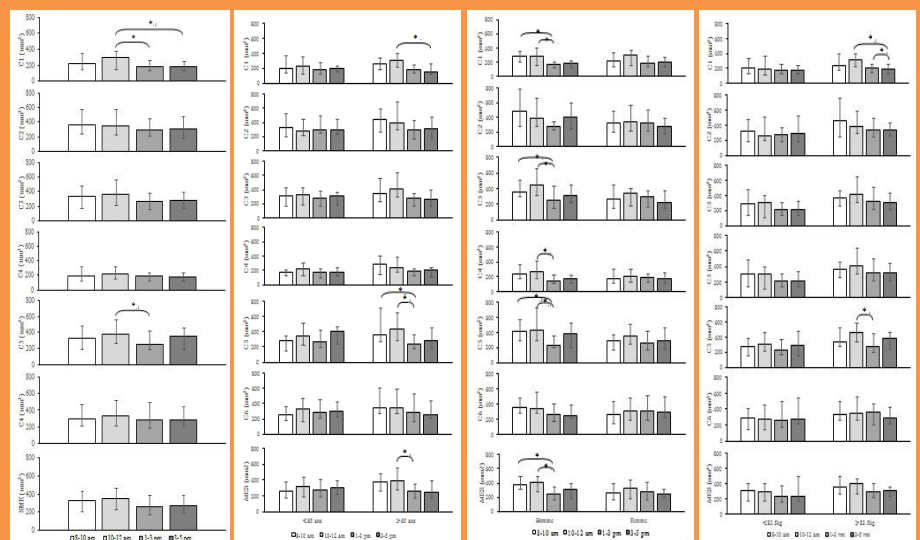
Le contrôle postural a été évalué par la posturographie statique (Médicapteurs, Balma, France) chez 241 patients porteurs de gonarthrose (âge moyen : $64,8 \pm 8,7$ ans ; 82 hommes) avec enregistrement de la surface couverte par le centre de pression des pieds en conditions sensorielles simples (yeux ouverts, support stable) et en conditions de suppression d'afférence (vision absente) ou de conflits sensoriels (vision et/ou proprioception perturbée(s)).

Afin d'évaluer les variations diurnes du contrôle postural, les enregistrements posturographiques ont été effectués, selon les patients, entre 8

Résultats

Le contrôle postural était plus performant l'après-midi que le matin à la fois dans les conditions sensorielles simples ($p = 0,012$) et de conflits sensoriels ($p = 0,047$), plus particulièrement en début d'après-midi, dans les conditions où la vision et la proprioception étaient disponibles ($p = 0,026$) ou perturbées ($p = 0,019$).

Les variations diurnes du contrôle postural étaient plus marquées chez les patients plus âgés, ceux dont le poids était le plus élevé et chez les hommes, selon les conditions de tests ($p < 0.05$) (Fig. 1).



Conclusions

Les patients porteurs de gonarthrose ont une stabilité posturale variable dans la journée. Une performance posturale moindre dans la matinée pourrait être expliquée par la raideur articulaire matinale.

Cette variation diurne mériterait d'être prise en compte afin de mettre en

Annexe 2 :

Archives of Gerontology and Geriatrics 2014 (soumis)

Diurnal variation on balance control in patients with symptomatic knee osteoarthritis: baseline data from a randomized controlled trial of spa therapy

Zheng Zhang^a, Alexis Lion^{a,b}, Isabelle Chary-Valckenaere^c, Damien Loeuille^c, Anne-Christine Rat^{c,d}, Jean Paysant^{a,e}, Philippe P. Perrin^{a,f,*}

^a Université de Lorraine, EA 3450 – Development, Adaptation and Disadvantage, Faculty of Medicine and UFR STAPS, F-54600 Villers-lès-Nancy, France.

^b Sports Medicine Research Laboratory, Public Research Centre for Health, L-1460 Luxembourg, Luxembourg.

^c Department of Rheumatology, University Hospital of Nancy, F-54511 Vandoeuvre-lès-Nancy, France and IMoPA UMR-CNRS 7561.

^d INSERM, CIC-EC, CIE6, Nancy, F-54 000, France

^e Regional Institute of Physical Medicine and Readaptation, F-54042 Nancy cedex, France.

^f Department of Oto-Rhino-Laryngology, University Hospital of Nancy, F-54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

Abstract

Increasing evidence supports balance control impairment in elderly patients with knee osteoarthritis (OA). However, there is limited data on diurnal variation of balance control in these patients. This study aimed to investigate postural stability in elderly patients with symptomatic knee OA during different periods in a daytime.

Two-hundred and eighty-four knee OA patients were enrolled in this study. Static posturography was performed in simple (eyes open, firm support) and conflicting sensory (vision altered or unavailable, proprioception altered) conditions. To assess diurnal postural variations, testing sessions were defined as follows: 8-10am, 10-12am, 1pm-3pm, 3pm-5pm. Influence of sex, age, height, weight, and body mass index on postural stability was evaluated. Knee pain was also assessed in four testing sessions.

Posturographic tests were completed for 241 patients (mean age: 64.8 ± 8.7 years; 82 males). Postural control was more efficient in the afternoon than in the morning both in simple ($p = 0.012$) and conflicting sensory conditions ($p = 0.047$), especially in early afternoon when vision and proprioception were available ($p = 0.026$) or disturbed ($p = 0.019$). Patients' knee pain was more pronounced in the morning than in the afternoon ($p < 0.001$). Diurnal variation of balance control was more noticeable in older, heavier, and male patients under different testing conditions ($p < 0.05$).

Knee OA patients have different balance stability during a daytime. Altered postural performance in the morning could be explained by joint pain. This diurnal variation should be taken into account in the daily management of knee OA.

ClinicalTrials.gov Identifier: NCT01544647

Key Words: balance control, diurnal variation, knee osteoarthritis, elderly patient, posturography

1. Introduction

Osteoarthritis (OA) is the most common rheumatologic disorder, affecting millions of people around the world. As the most frequently affected joint of the lower limb, knee OA patients suffer from pain, progressive loss of function, displaying complaint about knee instability [Fitzgerald et al., 2004; Felson et al., 2007; Schmitt et al., 2008]. Patients usually describe this instability as “giving way” or “buckling” of the knee during activities of daily living. This evidence may indicate that maintaining of knee stability is important for the

management of knee OA which could be possibly related to the prevention of accidental injuries caused by a falling.

Balance control, an integral component of many ordinary activities, is ensured through mechanisms of postural maintaining and stabilization, requiring management of body orientation in space by central processing of visual, vestibular, and somatokinesthetic afferences [Massion, 1994]. The knee joint overall acts as an important neurosensorial structure since it contains ligaments and menisci that provide afferent inputs via mechanoreceptors they involve, and muscles acting on the joint [Duman et al., 2012]. When knee OA occurs, balance control impairment was observed in patients comparing to matched healthy individuals [Hassan et al., 2001; Hinman et al., 2002; Wegener et al., 1997]. This finding may be explained by muscular, tendinous, ligamentous, and meniscal changes resulting in impaired proprioception and performance-based activity limitations [Salo, 1999; Sharma, 1999; Diracoglu et al. 2005].

Knee OA symptoms, such as joint pain and stiffness, were observed a fluctuation in the patients during a

* For correspondence or reprints:

Prof. Philippe P. Perrin, EA 3450 DevAH – Développement, Adaptation et Handicap, Université de Lorraine, UFR STAPS de Nancy, 30, rue du Jardin Botanique, 54603 Villers-lès-Nancy, France. Tel: +33 383 682 929; fax: +33 383 154 647; e-mail address: Philippe.Perrin@univ-lorraine.fr

daytime [Levi et al., 1985; Bellamy et al., 2002]. Whether there is a diurnal variation on balance control in knee OA patients and whether the possible variation is related to clinical symptoms have not been commonly studied. Exploring the circadian variation on postural stability therefore seems to be crucial in the management of knee OA for not only activities of daily life but also prevention of serious injuries due to falls in elderly patients. Several studies have investigated time-of-day interaction on postural balance in healthy older adults and young adults [Jorgensen et al., 2012; Gribble et al., 2007]. However, to our knowledge, diurnal variation on balance control in patients with knee OA has been reported only in one recent study [Sørensen et al., 2014].

The aim of this study therefore was to investigate the variation of postural stability in knee OA patients during different periods in a daytime. We hypothesized that knee OA patients may have a circadian variation on balance control probably with a better performance in the afternoon mainly due to more pronounced clinical symptoms appeared in the morning.

2. Materials and methods

2.1. Participants

Two-hundred and eighty-four symptomatic knee OA patients were enrolled in this study for a large clinical trial on Spa therapy at Nancy-Thermal (Nancy, France). General practitioners and rheumatologists in the surroundings of the University Hospital of Nancy were invited to refer eligible patients. Participants were also recruited through advertisements in local newspapers and local meetings.

Inclusion criteria were as follows: knee OA according to the American College of Rheumatology criteria [Altman et al., 1986]; unilateral or bilateral femorotibial lesions; a Visual Analogue Scale (VAS) for pain greater than 30 mm; Kellgren and Lawrence radiological classification greater than or equal to grade 2 [Kellgren & Lawrence, 1957]

Participants were excluded if they had: (1) isolated patello-femoral OA; (2) indications of knee joint surgery including replacement in this year; (3) other musculoskeletal diseases; (4) severe depressive syndrome, psychosis; (5) massage, physiotherapy, acupuncture of the targeted knee within the last month, changes in non-steroidal anti-inflammatory drugs in the past 5 days, changes in analgesics in the last 24 hours, changes in symptomatic slow acting drug in OA in the past 3 months, intra-articular injection of corticoids within the last month or hyaluronic acid in the past 3 months in the targeted knee; (6) physiotherapy or functional rehabilitation within the last month.

All the subjects gave their written informed consent to participate voluntarily in the trial and follow the experimental requirements. This study was approved by the French Medical Ethical Committee (*Comité de Protection des Personnes de Lorraine*) and registered in ClinicalTrials.gov with the identifier: NCT01544647.

2.2. Design and randomization

In order to investigate the variation of postural stability in knee OA patients during different periods within a day, patients were randomly assigned to four different testing sessions defined in a daytime as follows: 8-10am, 10-12am, 1pm-3pm, and 3pm-5pm. A centralized independent computer information program was used in this randomization with a technique of Zelen [Zelen, 1979]. Age, sex, body weight, height, body mass index (BMI), and pain were also recorded. The subjects were then scheduled to participate in the test in the subsequent 6 months.

2.3. Posturography

Balance control tests were carried out in a specially designed room for posturography recordings (*Agence Régionale de Santé de Lorraine* agreement for research). All participants were tested just before spa therapy by the same operator on a vertical force platform (Medicapteurs, Balma, France) mounted on three strain-gauge force transducers, providing a measurement of the body sway in terms of displacement of the centre of foot pressure (CoP) in a two-dimensional horizontal plane (recording time: 25.6s, acquisition frequency: 40Hz). The signals from the transducers were amplified, converted from analogue into digital form and then recorded on a computer. The sway area (in mm²) covered by the CoP trajectory was used to quantify postural sway. Low postural sway area values reflect good balance control precision [Perrin et al., 1999; Tarantola et al., 1997]. The body weight distribution on each foot was assessed by the mean position of CoP in mediolateral (ML) axis. The mean CoP position in ML axis (shift to left or right) reflects the approach to use lower limbs to bear the body weight during quiet stance, especially in the unilateral knee OA patients. For each test, patient was asked to stand barefoot and upright on the platform with feet abducted at 30°, heels separated by 3 cm, remaining as stable as possible and breathing normally with arms along the sides [Perrin et al., 1997; Lion et al., 2013]. All patients were tested under six different standing conditions (C1 to C6) with one trial for each condition from 1 (C1) to 6 (C6). In each condition the postural sway was recorded for 25.6s to evaluate their ability to make effective use of sensory inputs (visual, vestibular, and somatosensory) and to suppress sensory information that was altered. To provide inadequate information, somatosensory cues were disturbed by placing a 5mm thick foam support on the platform, while visual cues were disturbed by using virtual reality glasses, involved tilting the visual surroundings by following the subject's head movement and thus prevent useful visual information from environmental landmarks. Somatosensory information was reliable in (C1) when eyes were kept open or closed (C2). In C3, somatosensory cues remained available, while the patient stood, eyes open, within a head-movement referenced visual surround. From C4 to C6, somatosensory information was perturbed while vision was normal (C4), absent (C5) or head-movement referenced (C6).

In C3 and C4, a sensory conflict was induced, but relatively easy to resolve according to the amount of disrupted compared to reliable information (one disrupted cue for two reliable cues). The sensory conflict was more difficult to resolve in C5 and C6 (one disrupted cue (proprioception) for one available cue (vestibular), vision being absent in C5; two disrupted cues (proprioception and vision) for one available cue (vestibular) in C6). In order to evaluate the subject's ability to adapt and adjust balance control performance correctly and rapidly to change external and internal constraints, a mean equilibrium score (MES) was calculated by adding the scores of every conditions, and finally dividing that sum by six. This procedure was adapted from the Clinical Test for Sensory Interaction in Balance [Herpin et al., 2009; Shumway-Cook & Horak, 1986].

2.4. Pain assessment

In order to assess the intensity of affected knee joint pain, the Visual Analogue Scale (VAS) for pain was used [van Baar, et al., 1998; Rat et al., 2005]. The VAS consisted of a 100 mm line whose endpoints were designated as "no pain" (at 0 mm) and "insupportable pain" (at 100 mm) respectively. The patients were requested before the balance control test to locate the level of knee pain on the line with a small vertical mark.

2.5. Statistical analysis

The SPSS statistical software package (version 19.0) was used in this study for data analysis. Qualitative data were expressed as number (n) and percentage (%) and compared by χ^2 tests. Quantitative data were checked for normality of distribution with Kolmogorov-Smirnov test before analysis. Because most data followed non-normal distributions, the non-parametric tests were used in all statistical analyses. Quantitative data were thus expressed in median values, associated with 1st (Q₁) and 3rd (Q₃) quartiles. For the demographic variables that were recorded in this study, potential independent predictors were evaluated within all the subjects. Selected predictors included age, sex, height, weight, BMI, VAS for pain, and testing time. Correlations between these predictors and postural sway were determined using the Spearman ρ coefficient. Postural sway in all testing conditions in different age, sex, height, weight, and BMI between four groups of patients were measured by Kruskal-Wallis test then by Post-hoc Nemenyi test. Postural sway between patients with unilateral and bilateral OA, and quantified VAS for pain between four testing sessions were measured simultaneously in the same way. All statistically significant differences were accepted for a probability level of $p \leq 0.05$.

3. Results

Posturographic tests were eventually completed in 241 patients who had a mean age, body weight, and height of 64.8 ± 8.7 years, 83.5 ± 17.3 kg, and 166.8 ± 8.9 cm respectively. According to the convention,

BMI took 25 as a reference value. Characteristics of the study participants in different testing sessions were presented in Table 1. No differences were observed between the four patient groups of the various testing sessions for clinical variables (age, sex, height, weight and body mass index) (Table 1). All the selected potential predictors were found to have significant relationships with postural sway in some testing conditions (Table 2).

Balance control measured in four sessions within a day showed differences in sway area in C1 ($p = 0.012$) and C5 ($p = 0.047$) (Figure 1). The Post-Hoc analysis showed that the late morning group had a larger sway area than the early ($p = 0.026$) and late ($p = 0.037$) afternoon group in C1, and the late morning presented also a larger sway area than the early afternoon group in C5 ($p = 0.019$). Knee OA distribution in patients and postural sway in ML axis according to the MES were showed in Tables 3. A chi square test confirmed that there was no statistical difference between unilateral knee OA patients in four groups for selecting the affected or healthy lower limb as the main side to bear the body weight ($p = 0.992$). Meanwhile, no significant difference was observed within a day between patients with unilateral and bilateral OA in all testing conditions ($p > 0.05$). However, VAS for pain showed different joint pain intensity between four testing sessions ($p < 0.001$, Table 1). Patients tested in early afternoon had lower pain intensity comparing with those tested in early ($p = 0.005$) and late ($p < 0.001$) morning (Figure 2). In addition, patients tested in late afternoon were found also to have lower pain intensity than those tested in late morning ($p = 0.022$).

Age effect on sway area was presented in Figure 3. A significant heterogeneity was observed for the C1 ($p = 0.032$), C4 ($p = 0.014$), C5 ($p = 0.009$) and MES ($p = 0.046$). Post-hoc analyses showed that patients older than 65 presented smaller sway area in late afternoon than patients with the same age in late morning ($p = 0.013$) in C1. Patients older than 65 had smaller sway area in early afternoon than those in early ($p = 0.048$) and late ($p = 0.016$) morning in C5. Older patients showed also a smaller MES in early afternoon than those in late morning ($p = 0.043$). Patients less than 65 years did not present any significant variations on balance control in all the six conditions during the four testing sessions. However, in early morning, patients less than 65 years exhibited smaller sway area than the older ones in C4 ($p = 0.011$) and C5 ($p = 0.026$).

The effect of sex on sway area was shown in Figure 4. A significant heterogeneity was observed for C1 ($p = 0.030$), C3 ($p = 0.013$), C5 ($p = 0.024$) and MES ($p = 0.030$). The sway area of male patients between different day time sessions presented statistically significant differences, whereas no difference was observed in female patients. Post-hoc analyses showed that male patients had smaller sway area in early afternoon than those tested in early morning in C1 ($p = 0.016$), C3 ($p = 0.047$), C5 ($p = 0.050$) and MES ($p = 0.017$). Male patients showed also smaller sway area in early afternoon than those tested in late morning in C1 ($p = 0.047$), C3 ($p = 0.019$), C4 ($p = 0.014$), C5 (p

= 0.026) and MES ($p = 0.024$). Although diurnal variations on postural stability were not observed in female patients, they presented smaller sway area than males in MES in early morning, ($p = 0.044$).

There was no significant postural sway variation in a daytime in the patients with different height and BMI. However, a significant heterogeneity on sway area was observed in patients with different body weights in C1 ($p = 0.007$), C3 ($p = 0.001$) and C5 ($p = 0.008$) (Figure 5). Post-hoc analyses showed that patients who were heavier than the average weight had smaller sway area when tested in early afternoon than those tested in late morning in C1 ($p = 0.013$) and C5 ($p = 0.027$). Heavier patients also had a smaller sway area in late afternoon than those tested in late morning in C1 ($p = 0.012$). Comparing the subjects with different weight measured in the same session, it was demonstrated that patients who were lighter than the average body weight exhibited smaller sway area in late morning than the heavier ones in C1 ($p = 0.036$) and C3 ($p = 0.032$) respectively. In addition, lighter patients presented also smaller sway area in early afternoon than the heavier ones in C3 ($p = 0.029$).

4. Discussion

This study showed a significant variation of balance control in knee OA patients between different periods of the day. Impaired balance control performances were found in late morning both in basic (eyes open, firm support) and conflicting sensory (eyes closed, foam support) conditions. An overweighted man older than 65 with knee OA is more likely to present diurnal variation of postural control. Although balance control impairments in symptomatic knee OA patients were shown in some previous studies [Hassan et al., 2001; Hinman et al., 2002; Sørensen et al., 2014; Wegener et al., 1997], only few of them analyzed its variation in a daytime, especially in conflicting sensory conditions.

Our finding coincides with the outcome of a previous study concerning 32 subjects [Sørensen et al., 2014]. However, our study involved more complex testing conditions, and wider testing time span within a day. The consistent outcomes confirm that time-of-day has an impact on postural stability in patients with knee OA. Correlation between joint pain and postural sway observed in our study shows that pain plays an important role in diurnal variation on postural stability in knee OA patients. Pain has been confirmed to be a significant predictor of postural sway in OA patients [Hassan et al., 2001]. The presence of pain may reflexively inhibit the muscles around the knee, which could compromise effective and timely motor responses in postural control [Arvidsson et al., 1986]. In addition to knee pain, we speculate the morning stiffness may also have an impact on circadian variation on postural stability which needs further investigations in future studies.

Besides, the CoP position in ML axis reveals a body weight distribution on the feet in four groups of patients with unilateral knee OA. Even though they undergo fluctuated knee pain during different time

periods in a day, the strategy they selected for using lower limbs to bear the body weight does not show a time-dependent feature. We therefore consider that the lower limb loading in patients with unilateral knee OA may not be related to knee joint pain. Additionally, similar postural sway between patients with unilateral and bilateral OA in four groups reveals that they have undifferentiated abilities to maintain postural balance even with different affected sides.

A significant balance control variation was observed only in older patients in our study. Age plays an important role in the development of OA and simultaneously increases the risk of falling. Postural sway is found a significant increase in elderly subjects comparing to young controls during static posturographic test [Abate et al., 2009]. There is evidence that aging affects multiple sensory inputs, as well as the musculoskeletal system and central nervous system ability to perform sensorimotor integration [Alpini et al., 2004]. Knee proprioception is less accurate in elderly patients with knee OA compared to elderly control subjects and in healthy older ones compared to younger subjects [Sharma & Pai, 1997; Sharma, 1999]. In fact, proprioception and sensory input from the plantar surface of the feet to the upper body are the most important sensorial systems for maintaining balance under normal conditions [Lord et al., 1991]. In addition to the afferences from cutaneous pressure and touch receptors, joint position sense provided by the mechanoreceptors of synovial joints and the interrelations of tendon Golgi organs and muscle spindles are essential for maintaining balance [Diracoglu et al., 2005]. During normal standing (stable vision, fixed support), multiple neurosensory afferences are redundant and complementary to a higher contribution of proprioceptive and visual inputs than to vestibular inputs to perceive postural sway [Fitzpatrick & McCloskey, 1994]. With the evolution of OA, knee joint appears to present with mechanical stability changes at the ankle-subtalar joint complex [Hubbard et al., 2010]. In addition, altered kinematics at the knee joint leads to premature development of ankle OA secondary to the progression of knee OA [Tallroth et al. 2008]. Moreover, balance impairment increases with age due to both the loss of strength of ankle dorsiflexor muscles and to decreasing tactile sensitivity, joint position sense, and proprioception [Skinner et al., 1984; Whipple et al., 1987]. In the more difficult situations, where a minimum of sensory information was available or valid, alteration in the function of knee joint restrained more intensively the older patients measured in the early morning from generating adapted strategies than the younger patients, resulting in a poorer use of appropriate sensory information to adjust body equilibrium. Then, we infer that older patients may have an altered sensorimotor integration and an impaired compensated ability on balance control than the younger patients when the visual and proprioceptive sensory were disrupted or interfered.

Our findings suggest that the impact of OA on balance control is more pronounced in male patients.

Occupational characteristic makes men a more robust skeletal muscle and a faster recovery after fatigue or injury, besides, the hormone levels decrease faster in women after the menopause than in men with the same age which causes a decrease of bone density. These advantages in body postural control in males are also accompanied by disadvantages. Larger body weight causes a severe strain of knee joint cartilage, more intensive physical activities lead to physiological fatigue which is also unfavorable to manage the body equilibrium. Deschamps et al. had demonstrated that an exhaustive exercise and a high attention demanding task should result in alterations of postural control [Deschamps et al., 2013]. Although the subjects in their research were male college students, at least, we speculate that a satisfactory balance control may require good physical condition and mental state.

Although no difference was observed between the four periods according to height and BMI, circadian variation on balance control was present in overweight subjects. Obviously, lower body weight would reduce compressive forces in knee joint and defer the degeneration of cartilage, leading to a relief of knee joint pain and more flexible body mobility.

There were several limitations to this study. Measurements for healthy subjects were not implemented in this study. Another potential limitation of the present study is lack of testing continuity over the daytime. There was a gap of one hour between late morning and early afternoon testing session owing to the subsequent spa therapy schedule so that we cannot learn about a consecutive balance control performance in a daytime. Besides, we did not prolong our testing session into the evening so that the balance performance later in the day could not be acquired. Future studies of diurnal variation of postural stability should therefore be expected and may be more robust if the balance control tests are consecutive and over a longer time period.

5. Conclusion

This study showed that better postural stability was observed in patients with knee OA in the early afternoon than in the late morning in simple and conflicting sensory situations. These variations appeared also to be related to age, sex, and weight. Altered postural performance in the morning can be explained by more pronounced joint pain, however, lower limb loading in patients with unilateral knee OA may not be related to the pain. This information is important for future studies aiming at enhancing postural stability in knee OA patients and generating applicative approaches to prevent the occurrence of adverse events in patient's daily life. The relations between type and severity of clinical symptoms of knee OA and postural control need further investigations.

Conflict of interest

None declared.

Acknowledgements

The authors acknowledge the staff of the rheumatology department for subject recruitment; Ms Amandine Vallata and the staff of Clinical Epidemiology Centre (CEC), especially Prof. Francis Guillemin, Head of the CEC, for project management. This study was promoted by the Nancy University Hospital with a grant from the *Communauté Urbaine du Grand Nancy*.

References

- Abate, M., Di Iorio, A., Pini, B., Battaglini, C., Di Nicola, I., Foschini, N., Guglielmi, M., Marinelli, M., Tocco, P., Saggini, R., & Abate, G. (2009). Effect of hypertension on balance assessed by computerized posturography in the elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 49, 113-117.
- Alpini, D., Cesarani, A., Frascini, F., Kohen-Raz, R., Capobianco, S., & Cornelio, F. (2004). Aging and vestibular system: specific tests and role of melatonin in cognitive involvement. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 9, 13-25.
- Altman, R., Asch, E., Bloch, D., Bole, G., Borenstein, D., Brandt, K., Christy, W., Cooke, T. D., Greenwald, R., & Hochberg, M., et al. (1986). Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. Classification of osteoarthritis of the knee. Diagnosis and therapeutic criteria committee of the American Rheumatism Association. *Arthritis and Rheumatism*, 29, 1039-1049.
- Arvidsson, I., Eriksson, E., Knutsson, E., & Arnér, S. (1986). Reduction of pain inhibition on voluntary muscle activation by epidural analgesia. *Orthopedics*, 9, 1415-1419.
- Bellamy, N., Sothorn, R. B., Campbell, J., & Buchanan, W. W. (2002). Rhythmic variation in pain, stiffness, and manual dexterity in hand osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 61, 1075-1080.
- Deschamps, T., Magnard, J., & Cornu, C. (2013). Postural control as a function of time-of-day: influence of a prior strenuous running exercise or demanding sustained-attention task. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10, 26.
- Diracoglu, D., Aydin, R., Baskent, A., & Celik, A. (2005). Effects of kinesthesia and balance exercises in knee osteoarthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*, 11, 303-310.
- Duman, I., Taskaynatan, M. A., Mohur, H., & Tan, A. K. (2012). Assessment of the impact of proprioception exercises on balance and proprioception in patients with advanced knee osteoarthritis. *Rheumatology International*, 32, 3793-3798.
- Felson, D. T., Niu, J., McClennan, C., Sack, B., Aliabadi, P., Hunter, D. J., Guermazi, A., & Englund, M. (2007). Knee buckling: prevalence, risk factors, and associated limitations in function. *Annals of Internal Medicine*, 147, 534-540.

- Fitzgerald, G. K., Piva, S. R., & Irrgang, J. J. (2004). Reports of joint instability in knee osteoarthritis: its prevalence and relationship to physical function. *Arthritis and Rheumatism*, 51, 941-946.
- Fitzpatrick, R., & McCloskey D. I. (1994). Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during in humans. *The Journal of Physiology*, 478, 173-186.
- Gribble, P. A., Tucker, W. S., & White, P. A. (2007). Time-of day influences on static and dynamic postural control. *Journal of Athletic Training*, 42, 35-41.
- Hassan, B. S., Mockett, S., & Doherty, M. (2001). Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 60, 612-618.
- Herpin, G., Gargouri, I., Gauchard, G. C., Nisse, C., Khadraoui, M., Elleuch, B., Zmirou-Navier, D., & Perrin, P. P. (2009). Effect of chronic and subchronic organic solvents exposure on balance control of workers in plant manufacturing adhesive materials. *Neurotoxicity Research*, 15, 179-186.
- Hinman, R. S., Bennell, K. L., Metcalf, B. R., & Crossley, K. M. (2002). Balance impairment in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: a comparison with matched controls using clinical tests. *Rheumatology (Oxford)*, 41, 1388-1394.
- Hubbard, T. J., Hicks-Little, C., & Cordova, M. (2010). Changes in ankle mechanical stability in those with knee osteoarthritis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91, 73-77.
- Jorgensen, M. G., Rathleff, M. S., Laessoe, U., Caserotti, P., Nielsen, O. B., & Aagaard, P. (2012). Time-of-day influences postural balance in older adults. *Gait & Posture*, 35, 653-657.
- Kellgren, J. H., & Lawrence, J. S. (1957). Radiological assessment of osteo-arthritis. *Annals of the Rheumatic diseases*, 16, 494-502.
- Levi, F., Le Louarn, C., & Reinberg, A. (1985). Timing optimized sustained indomethacin treatment of osteoarthritis. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 37, 77-84.
- Lion, A., Spada, R. S., Bosser, G., Gauchard, G. C., Anello, G., Bosco, P., Calabress, S., Iero, A., Stella, G., Elia, M., & Perrin, P. P. (2013). Biological determinants of postural disorders in elderly women. *International Journal of Neuroscience*, 123, 24-30.
- Lord, S. R., Clark, R. S., & Webster, I. W. (1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *Journal of Gerontology*, 46, 69-76.
- Massion, J. (1994). Posture control system. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 877-887.
- Perrin, P., Gauchard, G. C., Perrot, C., & Jeandel, C. (1999). Effects of physical and sporting activities on balance control in elderly people. *British Journal of Sports Medicine*, 33, 121-126.
- Perrin, P., Jeandel, C., Perrin, C. A., & Béné, M. C. (1997). Influence of visual control, conduction, and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults. *Gerontology*, 43, 223-231.
- Rat, A. C., Coste, J., Pouchot, J., Baumann, M., Spitz, E., Retel-Rude, N., Le Quintrec, J. S., Dumont-Fischer, D., & Guillemin, F. (2005). OAKHQOL: a new instrument to measure quality of life in knee and hip osteoarthritis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 58, 47-55.
- Salo, P. (1999). The role of joint innervation in the pathogenesis of arthritis. *Canadian Journal of Surgery*, 42, 91-100.
- Schmitt, L. C., Fitzgerald, G. K., Reisman, A. S., & Rudolph, K. S. (2008). Instability, laxity, and physical function in patients with medial knee osteoarthritis. *Physical Therapy*, 88, 1506-1516.
- Sharma, L. (1999). Proprioceptive impairment in knee osteoarthritis. *Rheumatic Diseases Clinics of North America*, 25, 299-314.
- Sharma, L., & Pai, Y. C. (1997). Impaired proprioception and osteoarthritis. *Current Opinion in Rheumatology*, 9, 253-258.
- Shumway-Cook, A., & Horak, F. B. (1986). Assessing the influence of sensory interaction on balance. *Physical Therapy*, 66, 1548-1550.
- Skinner, H. B., Barrack, R. L., & Cook, S. D. (1984). Age-related decline in proprioception. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 184, 208-211.
- Sørensen, R. R., Jørgensen, M. G., Rasmussen, S., & Skou, S. T. (2014). Impaired postural balance in the morning in patients with knee osteoarthritis. *Gait Posture*, 39, 1040-1044.
- Tallroth, K., Harilainen, A., Kerttula, L., & Sayed, R. (2008). Ankle osteoarthritis is associated with knee osteoarthritis. Conclusions based on mechanical axis radiographs. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 128, 550-560.
- Tarantola, J., Nardone, A., Tacchini, E., & Schieppati, M. (1997). Human stability improves with the repetition of the task: effect of foot position and visual condition. *Neuroscience Letters*, 228, 75-78.
- van Baar, M. E., Dekker, J., Lemmens, J. A., Oostendorp, R. A., & Bijlsma, J. W. (1998). Pain and disability in patients with osteoarthritis of hip or knee: the relationship with articular, kinesiological, and psychological characteristics. *The Journal of Rheumatology*, 25, 125-133.
- Wegener, L., Kisner, C., & Nichols, D. (1997). Static and dynamic balance responses in person with bilateral knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25, 13-18.
- Whipple, R. H., Wolfson, L. I., & Amerman, P. M. (1987). The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home resident: an isokinetic study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 35, 13-20.
- Zelen, M. (1979). A new design for randomized clinical trials. *The New England Journal of Medicine*, 300, 1242-1245.

Table 1. Demographic Characteristics and Visual Analogue Scale (VAS) for Pain of Knee OA Patients in Different Testing Sessions (Early Morning: 8-10 am; Late Morning: 10-12 am; Early Afternoon: 1-3 pm, and Late Afternoon: 3-5 pm).

Parameter	Early Morning (n = 68)	Late Morning (n = 58)	Early Afternoon (n = 62)	Late Afternoon (n = 53)	Kruskal-Wallis Or χ^2 P-value
Sex, female, n (%)	49 (72.1)	38 (65.5)	42 (67.7)	30 (56.6)	0.276
Age, years, median (Q ₁ , Q ₃)	65.0 (58.8, 72.0)	64.5 (60.0, 71.0)	64.5 (58.0, 68.0)	65.0 (60.0, 71.0)	0.716
<65 year, n (%)	35 (51.5)	31 (53.4)	34 (54.8)	28 (52.8)	-
Height, cm, median (Q ₁ , Q ₃)	165 (161, 175)	166 (159, 171)	166 (160, 175)	167 (161, 173)	0.745
<166.8cm, n (%)	40 (58.8)	29 (50.0)	32 (51.6)	26 (49.1)	-
Weight, kg, median (Q ₁ , Q ₃)	78.5 (70.8, 90.5)	85.0 (75.0, 95.0)	83.0 (69.3, 92.0)	84.0 (70.0, 93.0)	0.585
<83.5kg, n (%)	40 (58.8)	28 (48.3)	31 (50.0)	25 (47.2)	-
BMI, median (Q ₁ , Q ₃)	27.8 (25.7, 32.5)	29.7 (26.7, 34.6)	28.6 (25.6, 32.9)	29.1 (25.6, 34.9)	0.327
>25, n (%)	55 (80.9)	51(87.9)	50 (80.6)	42(79.2)	-
VAS, mm, median (Q ₁ , Q ₃)	51 (41.8, 64.3)	56 (43.8, 71.5)	41 (30.5, 53.8)	48 (38.0, 59.0)	< 0.001

Table 2. Correlation coefficients (Spearman's ρ) between postural sway in different conditions and potential independent predictors within all OA patients.

	C1 *	C2	C3	C4	C5	C6	MES
Age	0.120	0.139 ^a	0.108	0.230 ^b	0.104	0.131 ^a	0.152 ^a
Sex *	-0.001	-0.132 ^a	-0.161 ^a	-0.068	-0.126	-0.059	-0.123
Height	0.045	0.134 ^a	0.177 ^b	0.078	0.130 ^a	0.090	0.132 ^a
Weight	0.148 ^a	0.204 ^b	0.292 ^b	0.140 ^a	0.214 ^b	0.153 ^a	0.212 ^b
BMI	0.126	0.131 ^a	0.196 ^b	0.088	0.149 ^a	0.086	0.136 ^a
VAS for pain	0.104	0.162 ^a	0.165 ^a	0.192 ^b	0.125	0.080	0.161 ^a
Testing time	-0.157 ^a	-0.077	-0.110	-0.088	-0.132 ^a	0.008	-0.075

*Male and female were configured in data analysis as 1 and 2 respectively.

* C1-C6, six different testing conditions; MES, mean equilibrium score.

^a P < 0.05; ^b P < 0.01.

Table 3. Knee OA distribution and postural sway in mediolateral axis according to the mean equilibrium score in the four groups of patients (number of patients and percentage).

Groups	Left knee OA	Right knee OA	Bilateral knee OA	Body shift to affected side in unilateral OA	Body shift to healthy side in unilateral OA
Early morning	4	19	45	9/23 (39.1%)	14/23 (60.9%)
Late morning	8	9	41	7/17 (41.2%)	10/17 (58.8%)
Early afternoon	11	8	43	7/19 (36.8%)	12/19 (63.2%)
Late afternoon	4	8	41	5/12 (41.7%)	7/12 (58.3%)

Figure 1. Median values, associated with 1st and 3rd quartiles, of the sway area (in mm²) for the six conditions (C1 to C6) and the mean equilibrium score (MES) observed in the knee OA patients in early morning (8-10 am, white bars), late morning (10-12 am, light grey bars), early afternoon (1-3 pm, silver grey bars) and late afternoon (3-5 pm, dark grey bars). * $p \leq 0.05$.

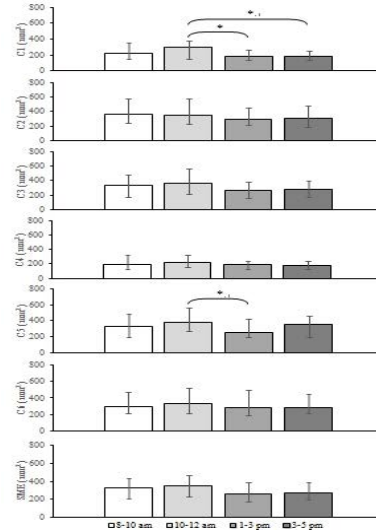


Figure 2. Median values, associated with 1st and 3rd quartiles, of the Visual Analogue Scale (VAS) for pain (in mm) observed in the knee OA patients in early morning (8-10 am, white bars), late morning (10-12 am, light grey bars), early afternoon (1-3 pm, silver grey bars) and late afternoon (3-5 pm, dark grey bars). (0, no pain; 100, insupportable pain) * $p \leq 0.05$.

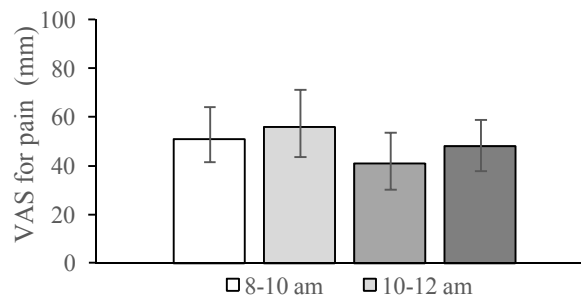


Figure 3. Median values, associated with 1st and 3rd quartiles, of the sway area (in mm²) for the six conditions (C1 to C6) and the mean equilibrium score (MES) observed in the knee OA patients younger (left panel) and older (right panel) than 65 years old in early morning (8-10 am, white bars), late morning (10-12 am, light grey bars), early afternoon (1-3 pm, silver grey bars) and late afternoon (3-5 pm, dark grey bars). * $p \leq 0.05$.

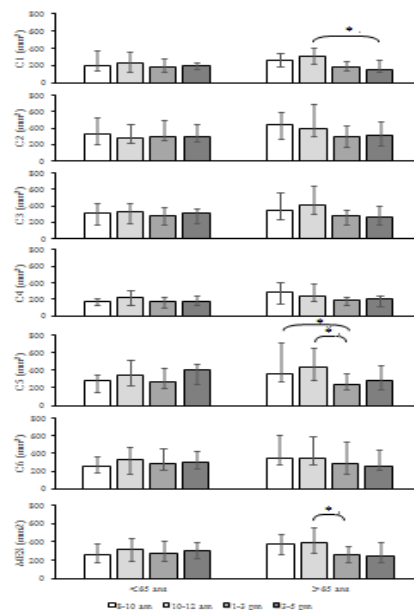


Figure 4. Median values, associated with 1st and 3rd quartiles, of the sway area (in mm²) for the six conditions (C1 to C6) and the mean equilibrium score (MES) observed in the male patients (left panel) and female patients (right panel) in early morning (8-10 am, white bars), late morning (10-12 am, light grey bars), early afternoon (1-3 pm, silver grey bars) and late afternoon (3-5 pm, dark grey bars). * $p \leq 0.05$.

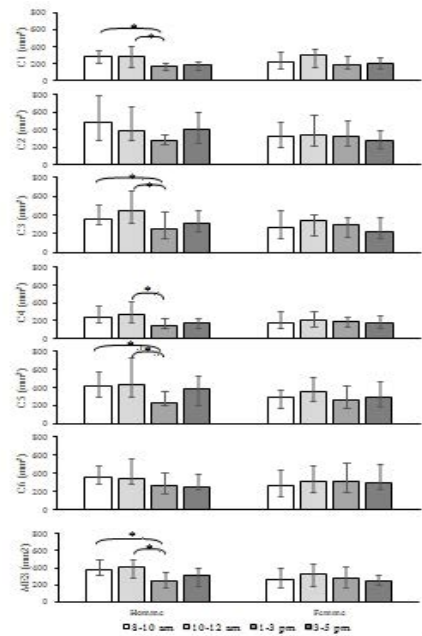
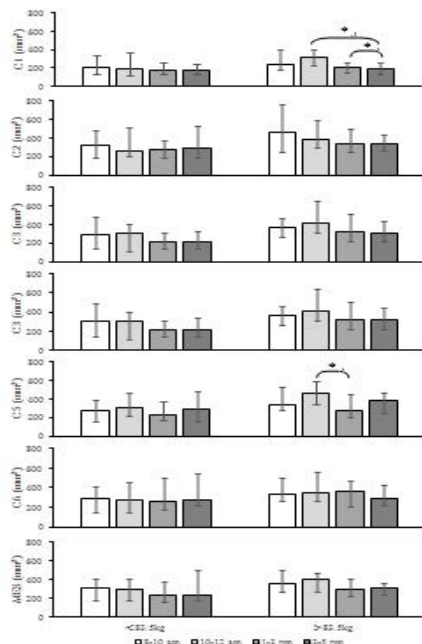


Figure 5. Median values, associated with 1st and 3rd quartiles, of the sway area (in mm²) for the six conditions (C1 to C6) and the mean equilibrium score (MES) observed in patients weighting less than 83.5 kg (left panel) and more than 83.5 kg (right panel) in early morning (8-10 am, white bars), late morning (10-12 am, light grey bars), early afternoon (1-3 pm, silver grey bars) and late afternoon (3-5 pm, dark grey bars). * $p \leq 0.05$.



Annexe 3 :

Cahier de posturographie : Etude Nancy Thermal..



Service d'Epidémiologie et Evaluation Cliniques

Centre d'Epidémiologie Clinique

GrandNancy
COMMUNAUTE URBAINE & HUMAINE



Etude Nancy Thermal

Cahier de posturographie

Initiales du patient :
(deux 1^{ères} lettres du nom et 1^{ère} lettre du prénom)

N° du patient :

Investigateur principal :

Pr. Isabelle Chary-Valckenaere
Rhumatologie, CHU Nancy
E.mail : i.valckenaere@chu-nancy.fr
Secrétariat : 03.83.15.32.03

Responsable scientifique:

Pr D. Loeuille, Rhumatologie, CHU Nancy

Promoteur :

Centre Hospitalier et Universitaire de Nancy
29, avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny
54035 Nancy Cedex
Tel : 03.83.85.16.30

CIC-EC

Responsables Méthodologiques :

Pr Francis Guillemin, Dr Anne Christine Rat

ARC à contacter :

Nathalie PIERREZ
Tel : 03.83.85.93.08 / Fax 03.83.85.12.05
Email : n.pierrez@chu-nancy.fr

Chef de projet :

Amandine VALLATA
Tel : 03.83.85.20.92
Email : a.vallata@chu-nancy.fr

Financier:

Communauté Urbaine du Grand Nancy

MODALITES DE REMPLISSAGE DU CAHIER

- Utiliser un stylo bille NOIR.
- Ne pas utiliser d'abréviation, écrire en toute lettre, lisiblement avec des lettres majuscules d'imprimerie.
- Remplir les initiales du patient sur la couverture du cahier (deux premières lettres du nom et première lettre du prénom), et son numéro de patient
- Valeurs numériques :
 - cadrez les valeurs numériques à droite
 - n'ajoutez pas de virgules, elles sont précodées si nécessaire
 - ne laissez pas de cases vides, mettez un zéro

Incorrect | 2 | 1 | Correct | 0 | 2 | 1 |

- Dates : enregistrez les dates sous la forme | J | J | | M | M | | A | A | A | A |
- En cas d'absence de données, utiliser les codes suivants :
 - NA : non applicable
 - NF : non fait
 - NC : non connu
 - DM : donnée manquante

Exemple : poids | | D | M | Kg

- Si une erreur a été inscrite, rayer l'information erronée (elle doit, dans tous les cas, rester lisible), remplacer par l'information correcte en justifiant si nécessaire, **parapher et dater les corrections. Ne pas utiliser de correcteur.**

VISITE DE SUIVI – V0

Date de la visite : | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Consigne : l'examen sera réalisé yeux ouverts/fermés/vision faussée, en statique puis dynamique (mousse ou plateau oscillant). La durée d'enregistrement est de 20 secondes.

		Longueur (mm)	Surface (mm²)	Longueur X (mm)	Longueur Y (mm)	X moyen (mm)	Y moyen (mm)	LFS	Prédominance directionnelle (°)
Conditions	Yeux ouverts					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Yeux fermés					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Vision perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Proprioception perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Proprioception perturbée et yeux fermés					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
Ratios	Vision et proprioception perturbées					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Ratio somesthésique					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Ratio visuel					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Ratio vestibulaire					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
		Longueur	Surface	Longueur X	Longueur Y	X moyen	Y moyen	LFS	Prédominance directionnelle

Date de la visite : | | / | | / | |

Consigne : l'examen sera réalisé yeux ouverts/fermés/vision faussée, en statique puis dynamique (mousse ou plateau oscillant). La durée d'enregistrement est de 20 secondes.

[illegible]

VISITE DE SUIVI – V2

Date de la visite : | | | | | | | | | |

Consigne : l'examen sera réalisé yeux ouverts/fermés/vision faussée, en statique puis dynamique (mousse ou plateau oscillant). La durée d'enregistrement est de 20 secondes.

		Longueur (mm)	Surface (mm²)	Longueur X (mm)	Longueur Y (mm)	X moyen (mm)	Y moyen (mm)	LFS	Prédominance directionnelle (°)
Conditions	Yeux ouverts					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Yeux fermés					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Vision perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Proprioception perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
Ratios	Ratio somesthésique								
	Ratio visuel								
	Ratio vestibulaire								

VISITE DE SUIVI – V3

Date de la visite : |

Consigne : l'examen sera réalisé yeux ouverts/fermés/vision faussée, en statique puis dynamique (mousse ou plateau oscillant). La durée d'enregistrement est de 20 secondes.

		Longueur (mm)	Surface (mm ²)	Longueur X (mm)	Longueur Y (mm)	X moyen (mm)	Y moyen (mm)	LFS	Prédominance directionnelle (°)
Conditions	Yeux ouverts					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Yeux fermés					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Vision perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Proprioception perturbée					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
Ratios	Proprioception perturbée et yeux fermés					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Vision et proprioception perturbées					☐ positif ☐ négatif			☐ positif ☐ négatif
	Ratio somesthésique								
	Ratio visuel								
Prédominance directionnelle	Ratio vestibulaire								